

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX. PASSAGE SOUS FLUVIAL DE KERINO. STABILITE A L'EROSION. TERMINAL A CONTENEURS EN MARTINIQUE. ANSE DU PORTIER A MONACO. FLOATGEN. PORT HALIGUEN-QUIBERON. JETEE NORD-EST ET QUAI DE PILOTAGE - PORT BOULOGNE-SUR-MER. BARRAGE DE VIVES-EAUX. ACCOSTAGE ET AMARRAGE POSTE PETROLIER A PETIT-COURONNE (76). QUAI EST II A PORT-LA-NOUVELLE. TERMINAL A MARCHANDISES - MONTOIR-DE-BRETAGNE

N°937 NOVEMBRE 2017



ACCOSTAGE ET AMARRAGE POSTE PÉTROLIER À PETIT-COURONNE (76)
© ETMF

SMA



**Ensemble,
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,
des professionnels, des dirigeants,
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
SAÏTE (AVANTAGE) AVEC ASSURANCE

SMA **VIE**

SMA
ASSURANCES

SMA
COURTAGE

SMA **VIE**
COURTAGE

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction
Sami Bounatirou (Bouygues tp), Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fntp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fntp), Laurent Guilbaud (Saipem), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com

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

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

Publicité

Rive Média
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

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reinger@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 Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

LES ACTEURS DU LITTORAL SONT AU TRAVAIL



© DR

Investir pour préparer les ports maritimes à relever les défis de demain. Voilà la belle feuille de route suivie par la Société d'Exploitation des Ports du Détroit, concessionnaire des ports de Calais et de Boulogne-sur-Mer, en partenariat avec la Région Hauts-de-France, notre concédant.

Il s'agit naturellement de doter le port de Calais, 1^{er} port de passagers d'Europe continentale, d'infrastructures en mesure d'accueillir dans des conditions optimales de sécurité et de fluidité le trafic transmanche, appelé à progresser dans les décennies à venir. C'est l'objet du projet Calais Port 2015. Mis en œuvre à travers un dispositif contractuel innovant, ce projet de 650 M€ vise à construire un nouveau bassin, protégé par une digue de près de 3 kilomètres, permettant l'évolution de navires de nouvelle génération mesurant jusqu'à 230 mètres. Le sable issu du creusement de ce nouveau bassin permettra de réaliser un terre-plein de 44 hectares gagnés sur la mer.

C'est aussi un investissement de plus de 30 M€ sur le port de Boulogne-sur-mer afin de moderniser les ports de pêche et de commerce dans le but de conforter la compétitivité de son industrie de transformation des produits de la mer. Les entreprises de la zone Capécure transforment annuellement plus de 300 000 tonnes de poissons, ce qui en fait la première zone d'activité portuaire de France.

Mais l'investissement ne peut se résumer à de grands projets d'infrastructures. Développer nos ports, c'est aussi innover pour proposer de nouveaux services à nos clients afin de fidéliser notre clientèle et d'ouvrir de nouveaux marchés.

C'est ainsi que nous développons, à Calais, le trafic de remorques non accompagnées. Le terminal multimodal permettant d'accueillir les trains de feroutage construit sur le port de Calais traite quotidiennement, depuis le début de mois d'octobre 2017, un deuxième train complet en provenance du Boulou. Notre partenaire VIA annonce le lancement prochain d'un service quotidien vers le Piémont !

Nous souhaitons que les voyageurs conservent une expérience agréable de leur passage par le port de Calais. À l'ère de l'hyper connectivité, nous avons couvert le port d'un réseau de wifi gratuit, travaillons à l'embellissement du port qui est, par nature, une infrastructure industrielle, et interrogeons les solutions technologiques pour permettre de rendre plus rapides les formalités administratives inhérentes au passage de la frontière. Le développement des passeports biométriques offre une opportunité considérable.

À Boulogne-sur-Mer, le système informatique de la criée a été entièrement modernisé et autorise l'ouverture de la vente à distance pour attirer de nouveaux acheteurs et de nouveaux volumes d'apports. De grands investisseurs privés (STEF, Grand Frais, Delanby...) se sont implantés ces derniers mois dans la zone Capécure. Après avoir vu sa flottille diminuer, ce ne sont pas moins de 5 nouveaux bateaux de pêche qui seront armés dans le port de Boulogne-sur-Mer en 2017 et 2018, ce qui montre la confiance que nos partenaires portent au port.

La mer représente un gisement potentiel de développement considérable. À nous, acteurs du littoral, de savoir saisir les opportunités.

JEAN-MARC PUISSESEAU
PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION
DES PORTS DU DÉTROIT



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

NOUVELLES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES POUR PORT HAUGUEN-QUIBERON © COMPAGNE DES PORTS DU MORBIHAN



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
RENAUD PAUBELLE**

PORT DE MARSEILLE FOS -
UNE DYNAMIQUE MULTI-FILIÈRES AUTOUR
D'UN DÉVELOPPEMENT RESPONSABLE

**22 SEINE GRANDS LACS :
GESTION DU GRAND CYCLE DE L'EAU**



30

**PASSAGE
SOUS FLUVIAL**
de Kérino



38

**STABILITÉ
À L'ÉROSION INTERNE**

d'un sol grossier traité à la chaux



44

**EXTENSION DU TERMINAL
À CONTENEURS DES GRIVES**
Martinique



50

**PROJET DE
L'URBANISATION EN MER
« L'ANSE DU PORTIER »**

Principauté de Monaco



56

FLOATGEN

Construction de la première
éolienne en mer en France
à Saint Nazaire



62

**NOUVELLES
INFRASTRUCTURES
PORTUAIRES**

pour Port Haliguen-Quiberon



68

**RÉHABILITATION
DE LA JETÉE NORD-EST
ET DU QUAI DE PILOTAGE**

du port de Boulogne-sur-Mer



74

**RECONSTRUCTION DU
BARRAGE DE VIVES EAUX**

sur la Seine



80

**RÉHABILITATION DES
SYSTÈMES D'ACCOSTAGE
ET D'AMARRAGE**

D'UN POSTE PÉTROLIER
à Petit-Couronne (76)



87

**RÉHABILITATION
DU QUAI EST II**

à Port-la-Nouvelle



94

**EXTENSION DU TERMINAL
À MARCHANDISES DIVERSES
ET CONTENEURS**

à Montoir-de-Bretagne -
La construction d'un quai vivant



PORT-LA-NOUVELLE MODERNISATION D'UN PORT HISTORIQUE

SOLETANCHE BACHY FRANCE, en groupement avec Buesa et Ménard, a conçu et réalisé, en solution variante innovante, un renforcement de quai sous forme de paroi discontinue en barrettes tirantées réalisées depuis le quai. Des pieux Starsol[®], des micropieux et des colonnes à module contrôlé (CMC) ont également trouvé place dans ce chantier complexe sur le quai Est II, ainsi que des travaux de démolition, de dragage, de génie civil et de chaussée. Des aléas de terrain ont été surmontés. L'activité du site a été maintenue. La Région Occitanie Pyrénées Méditerranée, s'inscrit dans l'avenir en dotant le port de Port-la-Nouvelle d'infrastructures à la hauteur des enjeux. **(Voir article page 87).**



L'ÎLE D'OLÉRON POSE DES PROTECTIONS DOUCES CONTRE LES DÉBORDEMENTS DE LA MER



© BENÔT GUILLOT

Les ganivelles, ici à La Cotinière (Charente-Maritime), retiennent le sable et favorisent la végétation.

Elles ont l'air frêles mais elles encaissent les assauts de la mer. Des ganivelles, barrières en échelas de châtaignier (bois fendu), ont été installées en octobre à La Fauche-Prère au nord de La Cotinière, sur la côte ouest de l'île d'Oléron (Charente-Maritime). Posées en double ligne et rectangles, elles forment des casiers à sable à l'avant des dunes sur 600 m et les protègent.

Chaque année, de façon naturelle, le sable s'accumule par périodes sur la plage puis recule à d'autres moments. L'érosion est actuellement plus forte que l'apport. D'où la nécessité pour préserver les dunes, de capter ce sable. Les échelas des ganivelles le laissent passer et permettent qu'il s'accumule derrière.

Ainsi se forme un bourrelet dunaire à l'avant de la dune existante, ou constitue une amorce de future dune si besoin. Des branchages, déposés au sol, favorisent le stockage du sable et le démarrage de la végétalisation, celle-ci contribuant à la résistance à l'érosion.

→ Bourrelet détruit en cas de tempête

Ces protections douces empêchent aussi le sable de voler par-dessus les dunes et de progresser d'ouest en est dans les terres. En cas de tempête, le bourrelet encaisse l'énergie de la houle, quitte à en être détruit, mais protège la dune située à l'arrière.

Cette technique, très ancienne, peut s'accompagner d'un renforcement de la

dune. Ainsi, en 2016, 4500 m³ de sable ont-ils été déplacés du port de La Cotinière où il était piégé, vers le pied de la dune de 140 m de long aux Placelles, plage située plus au nord. Trézence TP a effectué ce transfert.

Les ganivelles ont aussi l'avantage de canaliser les promeneurs vers des passages aménagés où ils ne fragiliseront pas le cordon dunaire. Ce qui suppose de les en informer afin qu'ils respectent ces cheminements.

La Communauté de communes d'Oléron (CDCO, 8 communes, 21 700 habitants permanents) met en œuvre ces protections contre les submersions marines là où il est possible d'attendre leur formation et là où le trait de côte est relativement stable, de l'ordre de 1 ou 2 m de recul ou d'avancée par an. Les ganivelles participent à l'aspect paysager et conservent les plages. La CDCO observe leur résistance quand les tempêtes se succèdent.

→ Suivre leur comportement

Les digues en dur restent nécessaires si des villages et des routes doivent être mis à l'abri sans attendre et si l'érosion est forte (10-40 m/an). Ces ouvrages ont l'inconvénient de se creuser en pied. La mer vient s'y heurter de plein fouet et se retire en emportant le sable. Sans compter leur coût alors que les ganivelles reviennent à 23 euros HT le mètre.

Le caractère fusible des protections douces suppose de contrôler leur état et de les réparer quand une tempête les déchausse comme cela a été le cas en

février 2016. Il faut parfois en réimplanter quand elles arrivent au point d'être enfouies sous le sable.

À Oléron, la communauté de communes et l'Office national des forêts qui gère le domaine public - forêt de Saint-Trojan, par exemple - suivent leur comportement.

→ Participation de l'État

En 2015 et 2016, un total de 6 800 m a été implanté sur la côte ouest de l'île et au nord de Saint-Georges-d'Oléron. Les travaux de 2015 - 138 600 euros HT - s'inscrivent dans le Programme d'actions de prévention des inondations de l'État, sous maîtrise d'ouvrage du département pour les communes⁽¹⁾. En 2016, la Communauté de communes a engagé 144 000 euros sur trois chantiers avec une aide de l'État de 100 800 euros. ■

⁽¹⁾ Cf. Travaux n°930, janvier-février 2017, pp 14-17.



© COMMUNAUTÉ DE COMMUNES D'OLÉRON

Le public est invité à marcher en dehors des ganivelles, ici à Plaisance, au nord de Saint-Georges-d'Oléron.

DEAUVILLE : REPRISSE DE L'ÉTANCHÉITÉ D'UNE L'ÉCLUSE



© CCS INTERNATIONAL

Remise en eau du sas après rénovation de l'écluse.

L'écluse du port de plaisance de Deauville (Calvados) a été remise en état. Installée en 2005, elle fuyait. Le bassin Morny se vidait alors qu'il aurait dû rester rempli. La jonction des deux portes n'était plus étanche ni celle avec la maçonnerie. Les joints d'origine n'ont pas supporté les efforts de compression de l'eau et des fermetures. Le chenal et le sas étaient envasés.

Le chantier confié à CCS International par le Conseil départemental a commencé en novembre 2016 et s'est terminé fin mars.

Les joints ont tous été remplacés avec une tolérance de pose de quelques millimètres.

L'étanchéité des 6 vantelles - trappes en bas des portes qui servent de chasse d'eau pour le nettoyage de la vase - a été refaite. Leurs vérins hydrauliques ont été remis à neuf.

Des pièces mécaniques du système de purge de l'écluse ont été changées et l'huile, entièrement remplacée.

→ Grue de 200 t

Les 4 portes de 8 m de haut ont été partiellement sablées et repeintes dans les

zones abîmées (chocs, rouille). Les travaux avaient débuté par la pose de batardeaux en amont et en aval de l'écluse grâce à une grue de 200 t. L'eau de mer a ensuite été pompée et le fond, dévasé. L'écluse mesure 9 m de profondeur, 16 de large et 25 de long.

Montant des travaux : 555 000 euros HT. Maîtrise d'œuvre : IOA ; entreprise générale : CCS International ; hydraulique : Meca HP ; usinage pièces métalliques : Demolin ; joints : Borflex ; assèchement : Telstar ; peinture : Lassarat ; échafaudages : LMS. ■

ÉNERGIES RENOUVELABLES EN FRANCE : UN SOUTIEN À CONFORTER



© PRINCIPLE POWER

L'éolien offshore prend du retard par rapport aux objectifs de 2020. Ici, modèle d'éolienne flottante qui sera utilisé dans deux parcs en Méditerranée.

« En 2017, nous dépasserons probablement 17% d'énergie renouvelable dans la consommation finale, mais serons-nous à 23%, l'objectif pour 2020, non, il faudra quelques années de plus, » a précisé Laurent Michel, directeur de l'Énergie et du Climat (ministère de la Transition écologique et solidaire), devant des parlementaires conviés sur le thème "la place grandissante des énergies renouvelables dans l'économie française", le 19 septembre. But : qu'ils comprennent les enjeux de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), à renouveler en 2018.

La PPE, instituée en 2016, révisable en 2018 puis tous les cinq ans, en 2023 et 2028, donne de la visibilité au secteur sur les puissances à installer et donc, les investissements et les emplois à prévoir⁽¹⁾. La France a des objectifs à respecter, conformément à la directive européenne 2009/28/CE. La révision va durer d'octobre à mars-avril pour un projet ficelé au 1^{er} semestre et une adoption par décret fin 2018.

En 2016, nous étions à 15,7% de renouvelables dans la consommation, une estimation qui inclut l'hydraulique. Toutes les énergies renouvelables ne rencontrent pas les mêmes difficultés.

Le biocarburant tient les prévisions, il est vrai moins ambitieuses. Le photovoltaïque, jusqu'ici, les dépasse.

→ Cartographier les zones à éolien en mer

En matière d'électricité renouvelable, l'éolien accuse le plus de retard.

L'acceptabilité des éoliennes, terrestres ou marines, en est une des raisons à côté de la complexité des dossiers administratifs. L'éolien en mer serait actuelle-

ment le plus entravé, selon le Commissariat général au développement durable⁽²⁾. La durée de montage des projets obère les coûts et fragilise les entreprises.

« Nous nous engageons dans une planification de l'espace maritime, a annoncé Vincent Bouvier, secrétaire général à la Mer. Il s'agit de mieux gérer les conflits d'usage par une concertation par façade maritime. Cela se traduira par une cartographie des zones propices à l'éolien en mer. » Les concessions en mer passeront de trente à quarante ans, selon Michèle Pappalardo, directrice de cabinet de Nicolas Hulot, ministre de la transition écologique et solidaire.

Ces projets, notamment s'ils sont lauréats d'appels d'offres de l'État, feront l'objet de dialogues concurrentiels afin d'en abaisser le prix.

S'inspirant du modèle danois, le ministre aimerait que ce soit l'État qui obtienne toutes les autorisations d'implantation en mer au préalable, et les transmette aux entreprises.

Le financement par le grand public de l'éolien (tous types) - participation citoyenne - concourt à son acceptation.

→ Baisse des prix

La chaleur renouvelable risque aussi de ne pas atteindre ses objectifs pour 2020 : 33% de la consommation de chaleur. Elle se situe à 25,5 en 2016.

Les prix de revient des énergies nouvelles renouvelables continuent de baisser. « En 2015, dans les appels d'offres pour les îles, le photovoltaïque associé à des batteries de stockage revenait à 204 euros/MWh, a indiqué Jean-Louis Bal, président du Syndicat des énergies renouvelables. En 2017, nous sommes à 117 euros/MWh. »

Pour en savoir plus :

www.ademe.fr/marches-emploi-lefficacite-energetique-enr. ■

⁽¹⁾ Les Dom-Tom et la Corse ont une PPE différente avec l'autonomie en vue.

⁽²⁾ Cf. *DataLab* septembre 2017, www.ecologique-solidaire.gouv.fr/collection-datalab.

LE LIMOUSIN MIEUX DESSERVI

Les alternatives à la ligne à grande vitesse Poitiers-Limoges, projet dont la déclaration d'utilité publique a été annulée en avril 2016, ont été définies et seront re-précisées début 2018. Michel Delebarre, sénateur, a préconisé dans son rapport remis fin juillet deux mesures principales pour désenclaver le Limousin : poursuivre la modernisation de la ligne de train Paris-Orléans-Limoges-Toulouse (POLT) et raccorder Limoges à la LGV Tours-Bordeaux par modernisation du tronçon Poitiers-Limoges. La ministre des transports, Elisabeth Borne, a confirmé fin septembre, que 1 milliard d'euros serait dédié à la ligne POLT, de 2015 à 2025.

Elle demande à la SNCF de présenter un programme pour Poitiers-Limoges. Elle s'est engagée à étudier une desserte aérienne, notamment de Limoges.

GIP COMPENSATION ÉCOLOGIQUE

Les Yvelines ont constitué un groupement d'intérêt public sur la compensation écologique, avec les Hauts-de-Seine, d'autres collectivités de ces 2 départements, l'Association des naturalistes et Lafarge. Il s'agit de trouver des sites naturels pour compenser l'atteinte à la biodiversité d'aménagements, conformément à la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (n°2016-1087).

MOINS DE PERSONNEL, CHIFFRE D'AFFAIRES STABLE

Le marché des énergies renouvelables et de récupération a plus que doublé de 2006 à 2010. Depuis la pointe de 2011 à 24,6 milliards d'euros, il se stabilise autour de 23-24 milliards. Les 24,2 milliards de 2016 couvrent la vente d'énergie renouvelable, les investissements dont ceux à l'export, les réseaux intelligents et l'exploitation-maintenance.

Le secteur employait 81 500 personnes à plein temps en 2015. Les effectifs sont descendus depuis 2010 (104 300) à 80 940 emplois en 2016. La part de l'exploitation augmente.



© YVELINES

Terrain en compensation d'impact de projets dans les Yvelines, département pionnier en la matière.

EMPLOIS ET TRÈS HAUT DÉBIT

L'étude sur les besoins en emplois, compétences et formations liés au déploiement de l'internet très haut débit a été mise à jour. Elle émane de la Délégation générale à l'emploi et à la formation professionnelle et de l'Agence du numérique.

Ainsi, y apprend-on que 3 800 postes à plein temps devront être alloués chaque année afin de répondre aux ambitions du Plan France très haut débit (2013-2022). Cela passera par du recrutement, de la mobilité interne ou de l'intérim. Ce qui représentera, en 2020, 70 000 journées de formation.



Installation de fibre optique.

SITE INTERNET RECYCLAGE-VALORISATION

La Fédération nationale des travaux publics et l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction ont mis en commun leur expertise pour créer un site internet dédié au recyclage et à la valorisation des déchets inertes de construction. Il est présenté au Salon des maires (21-23 novembre).

Y figurent des références techniques et réglementaires, des témoignages, des supports de formation, des chiffres, une géolocalisation des installations de traitement, et des questions à des experts.

www.materrio.construction

LES CANALISATEURS

Canalisateurs de France, représentant les entreprises spécialisées dans les réseaux d'eau, d'assainissement, de gaz et fluides, s'appelle "Les canalisateurs", avec la signature "Construire les réseaux de demain", depuis son assemblée générale d'octobre.

PROGRESSION DES VENTES D'ENGINS DE CHANTIER



© JCB

JCB va reprendre en interne la fabrication de ce dumper 7 t à la fin de l'année, engin à centre de gravité bas et haute visibilité tout autour, gages de sécurité.

Avec une prévision de +11% à la fin de l'année, les ventes de matériels de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage continuent d'aller mieux. « En 2017, le marché a vraiment repris, estime Jean-Marie Osdoit, président du Seimat qui représente les entreprises internationales du secteur. L'amélioration de 2016 a été un rattrapage par rapport à 2015, très bas. Nous sommes revenus au cycle normal avec des variations de plus ou moins 20%. Nous nous dirigeons vers un haut de cycle probablement en 2019-2020. Les grands chantiers ont un impact de l'ordre de 10%. »

Toutes familles confondues, il devrait se vendre 47 000 engins en 2017 et la prévision est de 48 400 en 2018.

En septembre, le Seimat a donné les chiffres des ventes sur les 7 premiers mois de 2017. En terrassement, les pelles sur chenilles de plus de 12 t qui représentent 40% de cette famille, avaient progressé de 11%. Les pelles sur pneus de plus de 11 t augmentent de 14%. Elles sont très utilisées en milieu urbain et les plus gros modèles reviennent dans les carrières.

La famille des matériels compacts rencontre toujours un certain succès. Les mini pelles en représentent 70% avec 7 725 unités (+25%).

À noter que les machines sont de plus en plus souvent dotées d'un système de guidage et de contrôle. La moitié des tracteurs sur chenilles (bulls) le sont.

Les entreprises deviennent plus productives avec moins d'engins.

→ Location longue de gros engins

« La mesure de sur-amortissement⁽¹⁾ d'Emmanuel Macron quand il était ministre de l'Économie, a été profitable à l'activité matériel, remarque Jean-Marie Osdoit. Des clients ont réagi dès la 1^{re} année (avril 2015-avril 2016), d'autres ont attendu la 2^e période jusqu'en avril 2017. Les livraisons vont s'étaler jusqu'à 2019. »

Les ventes sont soutenues par l'amélioration attendue en 2017 dans le bâtiment - +4% en volume - et dans les travaux publics, +2,5% en chiffre d'affaires. Signe que le marché repart, les loueurs⁽²⁾ ont réinvesti en 2016-2017. Le Seimat observe un recours à la location de plus longue durée, dite "opérationnelle" ou "achat temporaire", conçue comme un service par les concessionnaires et sur de plus gros engins. Ceci à côté de la courte durée.

Autre évolution : l'émergence de l'automatisation et de la connectique dans les machines. Des "cobots" (co-robots) apparaissent et sont une aide à la manœuvre humaine. La connectique rend nécessaire de former les clients à la mise en route des machines, sinon elles sont utilisées en dessous de leur potentiel. Le Seimat s'implique dans ce domaine auprès des concessionnaires. Le secteur recherche des mécaniciens de maintenance et des enseignants spécialisés.

→ Observatoire économique de la construction

Enfin, à l'occasion du salon Intermat (23-28 avril, Paris Nord Villepinte), est mis en place un observatoire économique du secteur de la construction à l'horizon 2025-2030. Il recensera les chantiers en cours et à venir. ■

⁽¹⁾ Déduction du résultat imposable d'une somme égale à 40% de la valeur d'origine du bien en plus de l'amortissement habituel.

⁽²⁾ Loueurs facturés en direct par les fabricants.

PROGRESSION PAR FAMILLE

Famille de matériel	Prévision 2017 (% , unités)		Prévision 2018 (% , unités)	
Terrassement	9%	4500	4%	4700
Compact	20%	16600	2%	17000
Routier	8%	12400	2%	12700
Béton	30%	1200	8%	1300
Levage	3%	12300	3%	12700
Total matériel	+11%	47000 unités	+3%	48400 unités

SOURCE : SEIMAT



terrasol

setec

Ingénieurs-Conseils
en géotechnique

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^{ème} pont sur le Bosphore, Baie de Cocody, Corniche de Brazzaville, Port de Vintimille, Cap Lopez...

	<p>Paris</p> <p>Tél : +33 (0)1 82 51 52 00 Fax : +33 (0)1 82 51 52 99 Email : info@terrasol.com</p>	<p>Lyon</p> <p>Tél : +33 (0)4 27 85 49 35 Fax : +33 (0)4 27 85 49 36 Email : lyon@terrasol.com</p>	<p>Maroc</p> <p>Tél : +212 (061) 25 53 89 Fax : +212 (529) 03 64 00 Email : telmalki@terrasol.com</p>
			<p>Tunisie</p> <p>Tél : +276 71 23 63 14 Fax : +256 71 75 32 88 Email : info@terrasol.com.tn</p>

EMPLOYER L'ACIER POUR DENSIFIER LES VILLES

Les écoles d'architectes et d'ingénieurs étaient invitées à utiliser l'acier pour « recréer du foncier sur des espaces a priori non constructibles » lors du concours annuel de Construiracier. Les 5 lauréats ont été choisis début septembre.

Le 1^{er} prix a été remporté par un système de liaisons entre bâtiments anciens, meublant les espaces vides, une façon de densifier un territoire urbain. Thibaut Blondet et Emile Bruneau de l'École nationale supérieure d'architecture (Ensa) Normandie, ont imaginé des structures en acier, trame qui peut recevoir de nouvelles constructions, des passerelles et jardins. Le 2^e prix a été accordé à trois élèves de l'Ensa Nancy pour l'occupation du sommet d'un crassier à Saint-Étienne (Loire) : Jérôme Guillaumont, Emmanuelle Prommier et Florian Ugolin. Apollo 42 est un anneau posé sur des pieux métalliques filetés et vissés. À l'intérieur, des espaces de conférences, loisirs et expositions. Les liaisons avec le pied de la colline s'inspirent du passé minier. Le "skip" qui ache-

minait les déchets, reprendrait du service pour des marchandises et des personnes.

→ Tour sur rond-point

Une autre équipe de l'Ensa Nancy - Pierre-Alain Martin, Jérémie Prouvez, Epiphanie Rinck - s'est penchée sur un délaissé routier, près du parc des expositions. Sur un rond-point, elle a conçu la tour Aéroserre (mention). Le parvis de la tour en acier relie des espaces séparés par les routes. Elle abrite une serre verticale dans laquelle viennent s'insérer des logements. Il est prévu un port à drones, transporteurs de colis et de voyageurs. Une 2^e mention a été attribuée à Anna Cholle de l'Ensa Paris-Val de Seine pour son installation de structures métalliques sur le terre-plein central d'un boulevard à Paris. Ces portiques en acier couverts de toile se montent et se démontent selon les besoins : marché, logements d'urgence, serre, etc. Ils supportent le réseau électrique et un récupérateur d'eaux de pluie.

→ Espace émergent en Floride

Enfin, le dernier projet lauréat (prix spécial) entend lutter contre l'étalement

urbain en Floride, à Cap Coral. Suburbs Park est un groupe de pyramides à base de poteaux et poutres en acier qui rompt l'alignement des maisons en plaine. Il émerge du paysage, voire il crée un centre-ville avec habitat superposé et loisirs. Il émane de trois étudiants de l'Ensa Nantes : Abi Ibrahimovic, Axel Perraud et Amaury Pluyaut. ■



Entre les bâtiments existants (en gris), des structures métalliques s'insèrent et accueillent cheminements, édifices, espaces verts.

ÉCLAIRER À PLUS DE 2000 m D'ALTITUDE

Ce mât d'éclairage sur remorque est conçu pour résister à des températures extrêmes et à plus de 2000 m d'altitude.

Ceci grâce à la taille et la puissance du moteur, 3 cylindres, 8 kW, refroidi à l'eau.

Son réservoir peut contenir 160 litres. À raison d'une consommation de 1,7 l/h par heure de fonctionnement, le Hilight V4W peut tourner quatre-vingt-dix heures. Les 4 ampoules à iode métallique de 1000 W/unité éclairent 4000 m² à 20 lux en moyenne. Le mât qui monte à 7,5 m, pivote à 360°. En option : treuil électrique, mise en route par minuterie, avec plusieurs séquences programmables, ou par cellule photoélectrique.

Enka[®]solutions

Géosynthétiques hautes performances pour le génie civil et les travaux publics

Légers, souples et faciles à installer, les produits Enka Solutions accompagnent les projets les plus exigeants partout dans le monde.



 Progress through performance
A Low & Bonar solution

Low & Bonar
12 rue de la Renaissance / 92184 Antony Cedex / T +33 157636740
info@enkasolutions.com / www.enkasolutions.com

INCENDIE : GROUPE COMPACT D'EXTINCTION

Ces surpresseurs de distribution d'eau d'extinction d'incendie sont compacts, préassemblés et testés en usine. Ils alimentent automatiquement des sprinklers dans des bureaux, des hôpitaux ou des usines (règle Apsad R1).

La gamme Si-Fire, modulaire, autorise 5 configurations : une pompe diesel ; une diesel et une jockey (maintien en pression) ; une pompe électrique ; une électrique (ou deux) couplée à une jockey. Elle couvre des besoins jusqu'à 750 m³/h et 128 mCE de pression (hauteur manométrique).



© WILLO

Plusieurs types de pompes peuvent être réunies.

ISOLATION ANTI VIBRATOIRE D'ÉOLIENNES

Deux éoliennes vont fournir environ 10000 kWh par an à la tour Eiffel. La société qui exploite le monument contribue ainsi au Plan climat énergie de Paris. Les éoliennes ont été installées en 2015 mais leur isolation anti vibratoire a été testée pendant deux ans. Les machines, à axe vertical, mesurent 7 m de haut et 3 d'envergure. Elles sont implantées à

127 m au-dessus du Champ de Mars sur le toit du restaurant, au 2^e étage de la tour. De la même couleur que les poutres en treillis, elles se fondent dans le décor mais leurs vibrations se transmettent aux locaux si aucun dispositif ne l'empêche.

→ Matériau absorbant

Depuis fin août, les mâts sont fixés sur une fondation métallique où sont "glis-

sées" des couches élastiques, en polyuréthane à cellules fermées, absorbant les vibrations à la source (cf. photo). La solution de Getzner Werkstoffe comporte l'appui de précontrainte et la suspension des douilles à vis par du Sylodyn.

Maître d'ouvrage : Société d'exploitation de la Tour Eiffel. Constructeur : Bateg. ■



Couches anti-vibratoires dans les fondations des éoliennes de la tour Eiffel.

© GETZNER WERKSTOFFE

LA DIGUE DE SANGATTE EST ENTIÈREMENT RECONSTRUITE



© JÉRÉMY HOBART-DRONE 82

Le corps de digue est recouvert de tout-venant, d'un feutre puis de deux couches de rochers, les plus petits sur le géotextile puis les plus gros. Une plate-forme en béton couronne l'ouvrage.

La digue de Sangatte (Pas-de-Calais) est reconstruite et surélevée par la technique de l'enrochement. Elle protège les 12 500 habitants et les activités situées juste derrière.

L'ouvrage, en mauvais état, avait besoin d'être entièrement refait. Il avait été réparé de nombreuses fois, la dernière en 2015 après la tempête Xaver, le 5 décembre 2013 (événement centennal).

L'État, propriétaire du domaine public maritime, a piloté l'opération à travers sa Direction départementale des territoires et de la mer du Pas-de-Calais.

L'ouvrage de 2,4 km comprend trois parties. La première de 420 m a été construite en 1598. Elle a été complétée par une digue de 530 m en 1864.

Les deux sont constituées d'un lit d'argile sur dune, protégé d'un parement en moellons.

En 1930-1931, est ajouté un 3^e ouvrage, en béton, de 1 420 m, également sur dune. C'est sur celui-ci qu'une brèche de 20 m s'est produite en décembre 2013. Des cavités s'étaient formées dessous.

→ Une carapace rocheuse de 367 000 t

Le choix s'est porté sur l'enrochement avec une pente plus douce qu'avant.

Les rochers laissent transiter l'eau, cassent la houle et la répartissent.

La digue passe de 7,45-7,96 m de haut à 8 m en tête, plus un muret de 50 cm. Son emprise au sol gagne 15 m.

Le corps de digue est d'abord rehaussé par du tout-venant, compacté, recouvert d'un feutre très résistant et lourd.

L'emprise est agrandie en creusant côté mer sur 3-4 m de profondeur. Sont déposées sur cette pente des roches de taille moyenne - 200 à 400 kg - de façon à ne pas poinçonner le géotextile, puis des roches de 2-4 tonnes. Au total, la carapace rocheuse pèse 367 000 t.

→ Epis en troncs de chêne

Le dispositif anti-submersion marine comprend des épis en bois. Cette côte supporte un courant marin d'ouest en est, parallèle à la plage et donc différent des vagues. Les épis, perpendiculaires au bord de mer, retiennent le sable sur place afin de réduire l'érosion en pied de digue. Tous les pieux ont été changés, soit 4 000 troncs de chêne de 30 cm de diamètre, 6 m de haut dont 4 enterrés. Des fouilles archéologiques ont eu lieu. Après relevés et photographies, les blockhaus situés sur l'emprise du chantier ont été détruits sauf un.

Le sol a été débarrassé des obus, mines, cartouches.

La perte de faune et flore liée au nouvel ouvrage est compensée sur un terrain proche ou à l'arrière de la digue (reconstitution d'une dune).

→ Un seul accès au chantier

Le chantier, commencé en février, se termine en avril 2018. Il se déroule avec un seul accès à la mer.

Les engins qui terrassent ou recouvrent la digue existante, roulent en haut de plage. Ceux qui réalisent la tête de digue de 4 m de large en béton, roulent dessus au fur et à mesure et disposent de rampes de retournement.

La reconstruction coûte 19 millions d'euros pris en charge par le Fonds Barnier, dédié à la prévention des risques naturels majeurs.

Dans ce cadre, la tête de digue est une plate-forme technique et non une promenade.

La collectivité locale qui héritera de sa gestion (loi Gemapi), pourra compléter les escaliers par des aménagements comme l'accès aux handicapés.

Maîtrise d'œuvre : Egis Eau. Entreprises : Spie Batignolles Nord co-traitant avec EPV. ■

VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

Six filiales de Vinci Construction spécialisées dans les travaux maritimes et fluviaux - EMCC, Dodin IDE, SNV, CTS, Tournaud et Aerolac - ont été regroupées dans Vinci Construction Maritime et Fluvial, en septembre.

La nouvelle entité se place sur le marché des énergies marines renouvelables à côté de travaux traditionnels.

TOTAL S'INTÉRESSE DE NOUVEAU AUX ENR

À la mi-septembre, Total a annoncé deux prises de participation qui devaient être approuvées par les autorités de la concurrence.

Le groupe apporte 237,5 millions d'euros au capital d'Eren Renewable Energy, soit une part de 23 %.

La société possède un parc, existant ou en chantier, en éolien, solaire et hydraulique, de 650 MW dans le monde. Total va l'aider financièrement pour atteindre 3 GW en 2023, année où il prendra le contrôle de ce qui devient Total Eren.

Par ailleurs, Total se prépare à racheter Greenflex, spécialisée dans l'efficacité énergétique (350 millions d'euros de chiffre d'affaires).

LES DÉBLAIS REMONTENT AU HAVRE

Lafarge France remblaie sa carrière de Saint-Vigor-d'Ymonville (Seine-Maritime), en banlieue du Havre, avec des déblais de chantier et en a augmenté les capacités afin d'accueillir notamment ceux du Grand Paris Express. L'entreprise y a investi 6,5 millions d'euros (grue de déchargement, quai, etc.). Sur le même site, elle a dépensé 8 millions dans une usine de broyage de déchets du BTP avec un appontement bateau, le site se trouvant au bord de l'eau.

COLAS SE RENFORCE DANS LE SUD-OUEST

Colas Sud-Ouest a repris la moitié du capital de six sociétés de carrières de Malet, soit 7 sites de production et de vente de matériaux, dans la région, au travers du groupe Sogefima. Les filiales routières régionales de Colas disposent ainsi d'un approvisionnement en granulats, notamment du côté de Toulouse.



Une des carrières de Malet dans laquelle Colas a investi.

© JOACHIM BRETRAND/COLAS

ENGE PLUS PRÉSENT DANS LE NORD-EST

ENGE s'est porté acquéreur de Vaglio qui exploite une carrière de pierre de taille Jaumont entre Thionville et Metz (Moselle), fait du transport, de la location d'engins et du concassage, produit des granulats et stocke des matériaux inertes.

La carrière, dont l'autorisation d'exploitation court jusqu'en 2040, produit près d'un million de tonnes de granulats par an. De plus, dans 7 des 10 départements de la région Grand-Est, le groupe a remporté avec Attitude Infrastructure l'appel d'offres d'un réseau numérique public à très haut débit, soit près d'un million de prises à raccorder d'ici à 2023.

L'investissement de 1,3 milliard d'euros s'accompagne de la concession du réseau pour trente-cinq ans. S'y joignent des financeurs d'infrastructures.

GINGER DELEO

Le groupe d'ingénierie Ginger réunit deux filiales spécialisées en déconstruction urbaine et démantèlement industriel sous la marque Ginger Deleo. Ginger Nudex, experte en désamiantage, démantèlement et infrastructures nucléaires, forme un pôle avec Ginger CEBTP Démolition.

ENGE INVESTIT DANS LES RENOUVELABLES ET LA MAINTENANCE NUCLÉAIRE



© ENGE

La centrale photovoltaïque de Gréoux-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence) occupe 180 hectares.

Solairedirect, filiale d'Engie, a mis en service un parc solaire photovoltaïque d'une puissance de 82 MW sur le territoire de Gréoux-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence), en juin. 300 000 panneaux et 50 postes de transformation électrique ont été installés sur 180 hectares. Engie vise un total de 2,2 GW en solaire électrique en 2021 et 25 % d'énergies renouvelables dans son portefeuille énergétique dans trois ans. Par ailleurs, le groupe a procédé à une série de prises de participation et d'accords à l'étranger.

En juin, il a pris 40 % de Tabreed, basée à Abu Dhabi (Émirats Arabes Unis) et qui dispose de 77 usines de refroidissement urbains dans la région. Mubadala en détient 42 %.

En mai, la filiale Storengy a obtenu trois permis d'exploration géothermique au Mexique avec Reykjavik Geothermal, entreprise islandaise. Elles ont en vue, la production de chaleur et de froid, et éventuellement d'électricité.

→ **Inde : 1 GW en éolien**

En éolien offshore, Engie s'est alliée à EDP Renovaveis pour former la joint-

venture (23 %-77 %) Moray Offshore Windfarm (East), lauréate d'une implantation de 950 MW dans le Nord-Est écossais.

Mise en service commerciale : 2022. En Mongolie, sa filiale Tractebel va construire un parc éolien dans le désert de Gobi, avec des financements internationaux.

Le parc de 55 MW fonctionnera dans la seconde moitié de 2018. La Mongolie a comme objectif 20 % de renouvelables dans son mix énergétique (consommation d'énergies primaires) en 2020 et 30 % en 2030.

Toujours en éolien terrestre, Engie s'est associé récemment à Abraaj, groupe indien avec lequel il entend réaliser 1 GW dans différents États.

La consommation d'électricité augmente de 9 % par an en Inde. Le gouvernement veut atteindre 60 GW en éolien en 2022.

→ **Coopération avec Rosatom**

Enfin, Rosatom (Russie) a signé un programme de coopération pour 2017-2019 avec Engie, en juin à Moscou.

Ce programme comprend plus de 20 projets en maintenance de centrales nucléaires, l'approvisionnement en électricité et les services liés au cycle du combustible. Il identifie aussi des projets en éolien ou dans "d'autres centres d'intérêt commun". ■

COMPLEMENT DE FOSSES DANS LE LIT DE LA GARONNE

La stabilité du pont de pierre à Bordeaux (Gironde) est menacée par des affouillements dus au rétrécissement de la Garonne en ville et à l'effet des courants (2,5 m/s) sur les piles.

Le pont en pierre et brique est le premier à traverser le fleuve en 1822. Il supporte maintenant un tramway, 15 000 véhicules par jour et 7 000 cyclistes.

Il mesure 487 m de long et près de 15 de large, sur 16 piles.

Les travaux ont débuté en juin et doivent se terminer au 1^{er} trimestre 2018.

Les fosses creusées à proximité des piles ou dans les talus sous-fluviaux, doivent être comblées. Le site a été représenté dans une maquette 3D évolutive.

Au fond, sont déposés de gros sacs de pierre - filets synthétiques et granulats de

40-200 mm. Ils sont descendus à partir d'un bateau pousseur, Le Braza, spécialement construit pour Balineau, mandataire du groupement d'entreprises⁽¹⁾. La descente est suivie par une caméra acoustique en 2D. Des plongeurs vérifient le bon positionnement au fond.

→ **Gabion de 115 t**

Ces sacs sont recouverts d'une carapace de protection en gabions métalliques posée de la même manière. Ces gabions de 144 m² chacun sur 50 cm d'épaisseur et de 115 t/pièce, regroupent des modules de 12 m² (granulats 90/180 mm). Ces dispositifs sont posés entre deux marées. ■

⁽¹⁾ Avec Antea, Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux, Vinci Construction Maritime et Fluvial.



© AQUATERRA SOLUTIONS

Le bateau achemine un gabion métallique de 144 m² vers une fosse. La descente du gabion sera guidée par une caméra acoustique, et sa position, validée par des plongeurs.

PARCS D'HYDROLIENNES SUR LE RHÔNE ET PROTOTYPE EN MER



En blanc, l'hydrolienne en test sur la Loire à Orléans (Loiret) sortie de l'eau pour maintenance : une fois ré-immersée, sa partie la plus étroite (en bas ici) fait face au courant, ses ailerons placés comme des nageoires.

Une hydrolienne marine Hydroquest va être expérimentée sur le site d'essais d'EDF de Paimpol-Bréhat (Côtes-d'Armor), en 2018. Sa construction par les Constructions mécaniques de Normandie (CMN) a commencé. D'une puissance de 1 MW, elle pèse plusieurs centaines de tonnes. Elle sera posée au fond de la mer, son trépied étant maintenu par des fondations gravitaires. En implantation courante, elle sera ancrée.

Ces essais servent à observer la résistance à la houle, à la corrosion, et à affiner le rapport entre vitesse du courant et production d'électricité.

→ Production continue d'électricité

Le prototype a été lauréat de l'appel à projets "Énergies renouvelables en mer et fermes pilotes hydroliennes fluviales" (Ademe, 2015). Les hydroliennes ont l'avantage de produire de l'électricité

sans interruption, 24h/24, à condition de disposer d'une profondeur suffisante. Mue par les courants sous-marins liés aux marées, l'hydrolienne fonctionne dans un sens puis dans l'autre. Elle se compose de deux turbines à axe vertical, dispositif répété sur deux étages.

Le double axe vertical est la signature des machines Hydroquest. « Elles n'ont pas besoin d'être retournées à chaque inversion de marée contrairement aux machines à axe horizontal, explique Jean-François Simon, président. Elles sont plus simples et plus robustes. Les grilles positionnées à l'avant protègent des embâcles (branches, etc.). »

→ Région Rhône-Alpes : pionnière

Le modèle fluvial d'Hydroquest est entré en phase commerciale (40 kW ou 80 kW) après un test de deux ans sur la Loire à Orléans (Loiret).

En 2018, elle va être installée en groupe en Rhône-Alpes. Quatre modèles de 80 kW vont l'être à Caluire-et-Cuire, sur le Rhône au nord de Lyon, avec Unite et l'aide de la Région.

Dans l'Ain, à l'aval du barrage de Génis-siat, au sud de Bellegarde, 39 hydroliennes vont être déployées pour une puissance totale de 2 MW. Elles seront disposées par groupes de trois, en V, distants de 150 m, soit une occupation de 2 km environ.

→ Câbles et micropieux

Ce projet de la Compagnie nationale du Rhône, en consortium avec Hydroquest et CMN, a été lauréat du même appel de l'Ademe que le prototype marin. La CNR prend en charge l'exploitation, la maintenance et l'ingénierie hydro-électrique de la ferme.

L'hydrolienne fluviale est portée par une barge flottante, retenue par câbles et micropieux. Elle nécessite au moins 2 m de profondeur. ■

ARMATURES EN FIBRE DE VERRE

Schöck a fourni 17 t d'armatures en fibre de verre là où le dossier de consultation des entreprises en prévoyait 40, sur le chantier de la gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart, ligne 15, au sud-ouest de Paris. Ceci grâce à leur élasticité et à leur résistance à la traction.

Les 340 m de parois moulées de la future station descendent à 40 m de profondeur pour former une boîte étanche de 110 m par 25. Une partie des parois est percée par le tunnelier.

Une armature en acier aurait pu endommager le tunnelier ou gêner son passage.

Les cages en fibre de verre resteront en place. Leur relative légèreté facilite l'écoulement du béton à l'intérieur et diminue leur temps de montage.



Hydrolienne marine fonctionnant sur le courant profond des marées.

BALINEAU

**FONDACTIONS SPECIALES
ET TRAVAUX NAUTIQUES**

1 Ponton 200 de diamètre

SEA lot 15

Travaux de dragage

- 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

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

www.balineau.com



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

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 **7 300 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
- **Par mail :** sur www.cnetp.fr, lien [nous contacter](#)
- **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



CHANGEMENT DE CONDUITE

Une partie du réseau d'eau potable de Lisle-sur-Tarn (Tarn) a été renouvelée à cause des fuites. Sur les 4,5 km à refaire, 2,5 km l'ont été en tuyau de fonte avec revêtement intérieur en polyuréthane (Von Roll Ducpur).

Une trancheuse a réalisé l'ouverture de la tranchée, la pose de la nouvelle conduite, le remblai et la finition. Le chantier a duré d'avril à juillet.



© FRANS BONHOMME

Pose en fossé du tuyau en fonte revêtue de polyuréthane à l'intérieur.

TURBINE ÉLECTRIQUE SUR CANALISATION D'EAU POTABLE

La pression dans les réseaux d'eau potable peut servir à mouvoir une turbine électrique. À l'usine d'eau potable du Ternay à Annonay (Ardèche), une micro turbine va utiliser la pression à l'entrée de la station. Ce faisant, elle la réduit, étape nécessaire au fonctionnement de l'usine. L'axe et l'hélice de la turbine sont noyés dans le flux d'eau potable. Les composants sont de qualité sanitaire. Avec une puissance de 26 kW, l'installation fournira l'équivalent de 30 % des besoins en électricité de l'usine, soit 132 000 kWh. Cette énergie est vendue à EDF.

→ Mise en service en décembre

La turbine "en canalisation" a été conçue par Saint-Gobain-Pam et Perga (turbines, Espagne). Le projet résulte d'une collaboration entre le groupe Saur (usine de traitement) et Hydrowatt, spécialiste de l'exploitation des turbines hydroélectriques. Saur a déterminé les emplacements où poser ces turbines sur le réseau de la ville d'Annonay, maître d'ouvrage. La première entrera en service en décembre. ■



© HYDROWATT

Chantier de la micro turbine à l'entrée d'une usine d'eau potable à Annonay (Ardèche).

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 29 NOVEMBRE

Journée de l'innovation dans les travaux publics

Lieu : Paris (FNTP)
www.novabuild.fr

• 4 DÉCEMBRE

Travaux publics Innovation Day

Lieu : La-Tour-de-Salvagny (Rhône)
www.indura.fr

• 6 AU 8 DÉCEMBRE

Conférence Stuva (tunnels et infrastructures)

Lieu : Stuttgart (Allemagne)
www.stuva-conference.com/en/

• 12 AU 14 DÉCEMBRE

Salon des solutions en efficacité énergétique

Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.world-efficiency.com

• 13 DÉCEMBRE

Développement en Afrique et infrastructures

Lieu : Paris (Unesco)
www.cfms-sols.org

• 18 DÉCEMBRE

Requalification innovante des friches industrielles

Lieu : Lyon
www.indura.fr

• 24 ET 25 JANVIER

Rencontres de la mobilité intelligente

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)
www.congres-atecitsfrance.fr

• 30 JANVIER AU 1^{er} FÉVRIER

Assises européennes de la transition énergétique

Lieu : Genève (Suisse)
www.assises-energie.net

• 8 FÉVRIER

19^e colloque du Syndicat des énergies renouvelables

Lieu : Paris (Unesco)
www.enr.fr

• 20 AU 23 FÉVRIER

XV^e congrès de la viabilité hivernale

Lieu : Gdansk (Pologne)
www.piacr.org

• 14 AU 16 MARS

Symposium international sur la sécurité des tunnels

Lieu : Borås (Suède)
http://istss.se

• 26 AU 28 MARS

Congrès mondial Préservation du patrimoine routier

Lieu : Nice
www.orquasi.fr

FORMATION

CONSTRUCTEUR VOIRIE ET RÉSEAUX

Quinze demandeurs d'emploi d'Île-de-France vont devenir "constructeurs professionnels en voirie et réseaux" à l'issue d'une formation de sept mois complétée par un stage, subventionnée par le Conseil régional. Cette certification est issue d'une démarche de gestion prévisionnelle territoriale des emplois et des compétences menée dans l'Essonne par Atout PLIE Nord-Ouest 91. Formation assurée par CPO FC. Y sont associés l'EPA et la Communauté d'agglomération Paris-Saclay, les organisations de travaux publics, des entreprises locales et celles d'insertion.

NOMINATIONS

ARAFER :

Jean-Marc Vié devient secrétaire général de l'Autorité de régulation des activités ferroviaires et routières après avoir été adjoint d'Alexis Vuillemin et en remplacement de celui-ci.

CANAL SEINE NORD EUROPE :

Xavier Bertrand a été élu président de la société du Canal Seine Nord Europe. Il succède à Rémi Pavros.

CONSEIL D'ORIENTATION

Philippe Duron préside le Conseil d'orientation des infrastructures en vue d'une loi sur ce thème en 2018.

ÉCOLE DES PONTS :

Sophie Mougard dirige l'École des ponts Paris Tech à la suite d'Armel de la Bourdonnaye.

EIFPAGE CONSTRUCTION :

Luc Bouvet prend la direction de la région Sud-Est d'Eiffage Construction et d'Eiffage Immobilier en remplacement d'Yves Girard, retraité. Alain Argillier est chargé de la promotion immobilière pour

cette région. Par ailleurs, Yannick Lamonica dirige la branche bois, créée en septembre.

INDURA :

Paul Galonnier remplace Pierre Rampa à la présidence du cluster spécialisé en innovation et développement durable dans les travaux publics.

INTERCOMMUNALITÉS :

Jean-Luc Rigaut préside l'Assemblée des communautés de France, fédération d'intercommunalités, à la suite de Charles-Éric Lemaignen.

MEDEF :

Élisabeth Tome-Gertheinrichs a été nommée directrice générale adjointe chargée des politiques sociales du Mouvement des entreprises de France.

SAUR :

Jean-Damien Pô a été nommé directeur des ressources humaines,

de la stratégie et de la prospective du groupe Saur, cet été.

SFIC :

Bénédicte de Bonnechose a été élue présidente du Syndicat français de l'industrie cimentière et de la filière béton. Elle succède à Raoul de Parisot.

SNCF :

Alain Thauvette est le nouveau directeur régional des TER en Auvergne Rhône-Alpes.

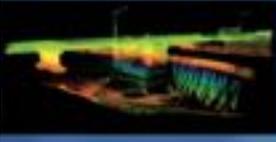
SNCF RÉSEAU :

Radia Ouarti rejoint en tant que directrice, le cabinet de Patrick Jeantet, PDG.

SOFFONS :

Didier Jacquet remplace Didier Verrouil à la présidence du Syndicat des entrepreneurs de sondages, forages et fondations spéciales.

Voir sous l'eau...


SUBTOP votre partenaire pour les travaux maritimes et fluviaux (dragage, construction et inspection).

- ▲ Vente location de systèmes intégrés,
- ▲ Installation, formation,
- ▲ Assistance technique,
- ▲ France, International.

- ▲ Positionnement précis,
- ▲ Bathymétrie, imagerie sous-marine,
- ▲ Guidage d'engins,
- ▲ Suivi environnement.

24 ans d'expérience



www.subtop.fr
Tél. 01 64 55 80 40
subtop@geoaction.eu

PORT DE MARSEILLE FOS UNE DYNAMIQUE MULTI-FILIÈRES AUTOUR D'UN DÉVELOPPEMENT RESPONSABLE

IDÉALEMENT SITUÉ SUR LES RIVES DE LA MÉDITERRANÉE, LE PORT DE MARSEILLE FOS, PREMIER PORT FRANÇAIS, EST LA PORTE D'ENTRÉE NATURELLE DE L'EUROPE. IL SE POSITIONNE COMME L'ALTERNATIVE SUD AUX PORTS DU NORD DE L'EUROPE POUR L'ACCÈS AUX MARCHÉS FRANÇAIS ET EUROPÉENS. SUR UNE ZONE AUSSI ÉTENDUE QUE LA VILLE DE PARIS, IL DISPOSE D'ESPACES ET D'INFRASTRUCTURES POUR ACCUEILLIR DES ACTIVITÉS À LA FOIS MARITIMES, LOGISTIQUES ET INDUSTRIELLES. **ENTRETIEN AVEC RENAUD PAUBELLE, DIRECTEUR DE L'AMÉNAGEMENT DU PORT DE MARSEILLE FOS.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



TOURNÉ VERS L'AVENIR, LE PORT DE MARSEILLE FOS EST ÉGALEMENT ENGAGÉ DANS LE DÉVELOPPEMENT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES. POUR PREUVE, LA SIGNATURE D'UN ACCORD À LONG TERME AVEC LA SOCIÉTÉ INTERXION, DEUXIÈME OPÉRATEUR MONDIAL DE « DATA CENTERS ». RENAUD PAUBELLE, DIRECTEUR DE L'AMÉNAGEMENT ET MEMBRE DU DIRECTOIRE DU PORT DE MARSEILLE FOS FAIT LE POINT SUR LES RÉALISATIONS RÉCENTES, LES TRAVAUX EN COURS ET LES PROJETS À VENIR.

En quelques chiffres, comment le port de Marseille Fos se situe-t-il sur le marché français ?

Avec un trafic de 81 millions de tonnes, le port de Marseille Fos a conforté en 2016 sa place de 1^{er} port français. Son activité a résisté à un contexte économique national et international peu porteur.

La stratégie de diversification des trafics portuaires, essentielle pour renforcer les filières complémentaires à celles liées aux hydrocarbures et au raffinage de pétrole brut, s'est avérée payante puisque ces activités - remorques, voitures, GNL, petits vracs, réparation navale, passagers et conteneurs - affichent toutes de solides progressions.

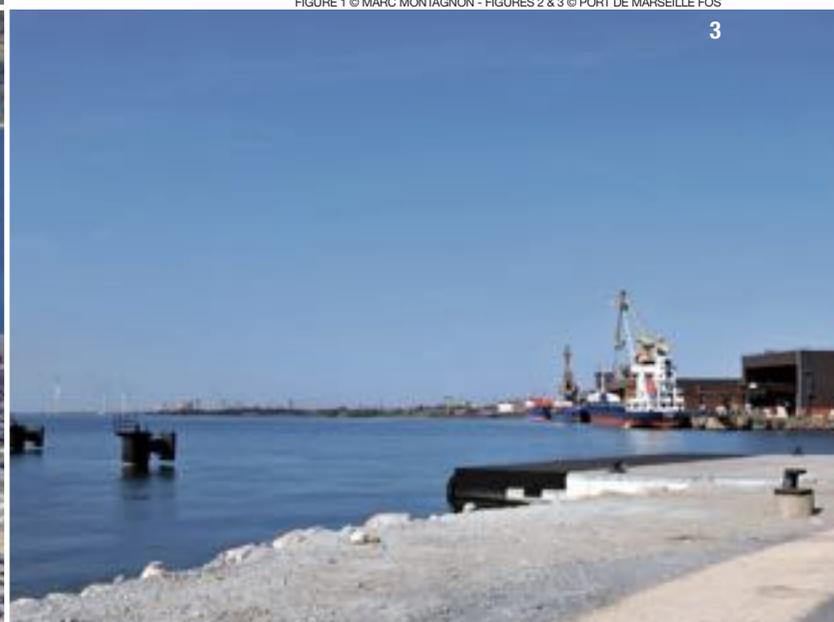


FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © PORT DE MARSEILLE FOS

Au niveau des infrastructures, comment le port est-il organisé ?

Le port de Marseille Fos, ce sont en réalité deux bassins portuaires, Est et Ouest. Les bassins Est sont les plus anciens dont les premiers quais ont été réalisés à partir de 1850 et qui sont protégés par la digue du large, un ouvrage d'une longueur de l'ordre de 8,5 km. Ils forment une bande littorale de 300 m de largeur qui s'étire sur près de 12 km ce qui représente environ 400 hectares de terre-pleins. Les bassins Ouest, situés à Fos, représentent environ 10 000 hectares et accueillent les grands trafics - les produits pétroliers et chimiques, le GNL, les vracs, les conteneurs, le trafic conventionnel et les voitures - les complexes industriels, pétrochimiques et sidérurgiques, les zones logistiques et 2 500 hectares d'espaces naturels gérés par le port.

L'un des enjeux du port est de poursuivre le développement de l'activité maritime par la diversification des trafics : les conteneurs, le GNL, le vrac sous plusieurs formes.

À fin mai 2017, tous les segments, à l'exception des vracs liquides qui ont connu un recul du fait de l'arrêt de la raffinerie de La Mède, sont en progression : 8,6 Mt de marchandises diverses (+13%), 5,6 Mt de conteneurs (+11%), 19,3 Mt de vracs liquides (-3%), 5,6 Mt de vracs solides (+5%), 800 000 passagers (+7%).

Le port gagne des parts de marché. Il se porte bien en termes de trafic : de plus en plus de clients nous font confiance. Tant et si bien que l'on voit également, au-delà des trafics maritimes, des activités économiques associées qui se développent, notamment sur la logistique avec un déve-

MARSEILLE FOS : LE TRAFIC 2016

81 millions de tonnes dont :

- 18,5 Mt de marchandises diverses, en progression de 3%,
- 12 Mt de conteneurs, en progression de 3%,
- 49,5 Mt de vracs liquides, en contraction de 1 % mais avec une progression du GNL de 33%,
- 12,9 Mt de vracs solides,
- 2,7 millions de passagers, dont 1,6 millions de croisiéristes, en progression de 6%,
- 8 000 escales par an.

Le cluster industrialo-portuaire de Marseille Fos représente plus de 41 500 emplois directs, soit 11 % de la richesse générée sur le territoire métropolitain et 7 % de l'emploi.

veloppement des zones logistiques extrêmement dynamique, le port réalisant lui-même les aménagements de viabilisation et les infrastructures d'accès routières et ferroviaires.

1- Renaud Paubelle, directeur de l'aménagement du port de Marseille Fos.

2- La bassin Ouest, situé à Fos-sur-Mer, avec le terminal à conteneurs.

3- Le ponton amovible destiné à accueillir les colis extra-lourds du projet ITER de Cadarache.

4- La plateforme Piicto de Caban Tonkin est un périmètre identifié de 1 200 ha.

5- La passe Nord du bassin Est du port de Marseille Fos.

Certains chargeurs repositionnent une partie de leur chaîne logistique dans le Sud Europe. C'est là que le port de Marseille Fos tire son épingle du jeu en offrant des solutions logistiques particulièrement pertinentes, compétitives et fiables sur le port lui-même ou dans les environs proches.

Quels sont les aménagements qui ont contribué à parvenir à ces résultats ?

Parmi les travaux dans le bassin Ouest, le projet « Rotule » vise à supprimer la discontinuité de 240 m de longueur existant entre les deux terminaux à conteneurs de la darse 2 des bassins Ouest. L'appel d'offre ouvert aux variantes est en cours. Il consiste à réaliser 240 m de quais profonds avec une solution de base « combi wall » associant pieux et palplanches.

Après constitution d'une digue provisoire, le quai sera réalisé par voie terrestre avec mise en place de l'alternance pieux/palplanches et d'une ligne de tirants de confortement, puis la

digue sera démontée et les superstructures portuaires construites sur le quai. L'objectif est d'augmenter la capacité du terminal, de faciliter les échanges entre les deux terminaux et d'accueillir des grandes unités sur 2,6 km de quais en continu avec une charge admissible sur les rails des portiques passant de 85 t/m à 150 t/m, ce qui est considérable. Cela nécessite un dimensionnement particulier des ouvrages tant en ce qui concerne les descentes de charges que les efforts d'accostage et ce qui permet d'anticiper sur l'évolution à venir des portiques et des navires.

À l'issue des travaux, les terminaux pourront accueillir des porte-conteneurs de 400 m de longueur, d'une capacité de 18 000 à 21 000 conteneurs EVP (Équivalent Vingt Pieds). Parmi les travaux de modernisation des équipements portuaires, l'opération consistant à dévier le trafic de 6 000 véhicules/jour de poids lourds de la RN 568, depuis La Feuillane jusqu'au carrefour Saint Gervais en bordure de Fos-sur-Mer, vers les routes portuaires RP 544 et RP 545, a induit des travaux de recalibrage et de renforcement de ces routes avec une remise en circulation des routes portuaires début juillet 2017.

Un autre aménagement, peu spectaculaire mais important pour le fonctionnement du port, que nous avons réceptionné en juillet dernier, est la réalisation de la rampe fluviale Ro-Ro destinée à accueillir les colis extra-lourds - jusqu'à 880 tonnes - destinés au site du projet ITER de Cadarache. Cet appontement sur pieux comporte désormais une partie amovible afin de faciliter le déchargement des barges dites « rhodaniennes » approvisionnant le site de Cadarache. ▶

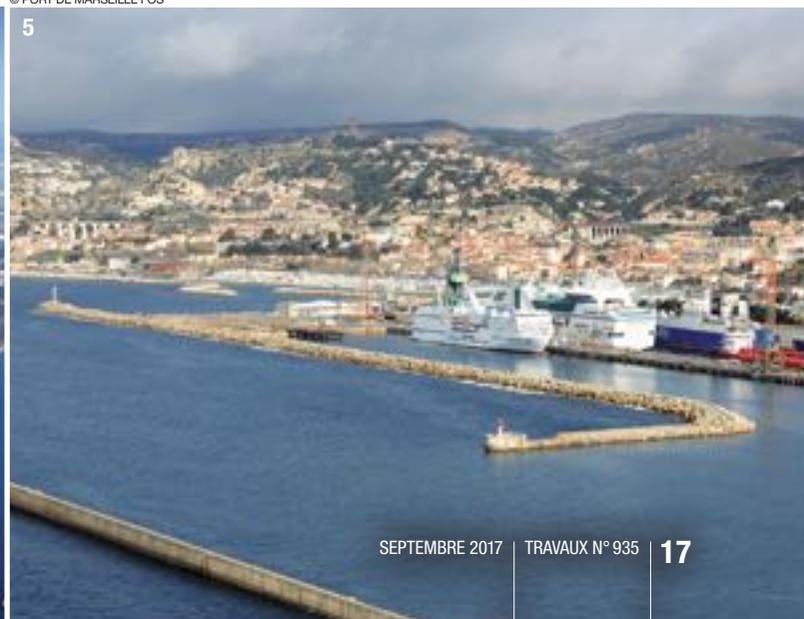
© PORT DE MARSEILLE FOS

4



© PORT DE MARSEILLE FOS

5



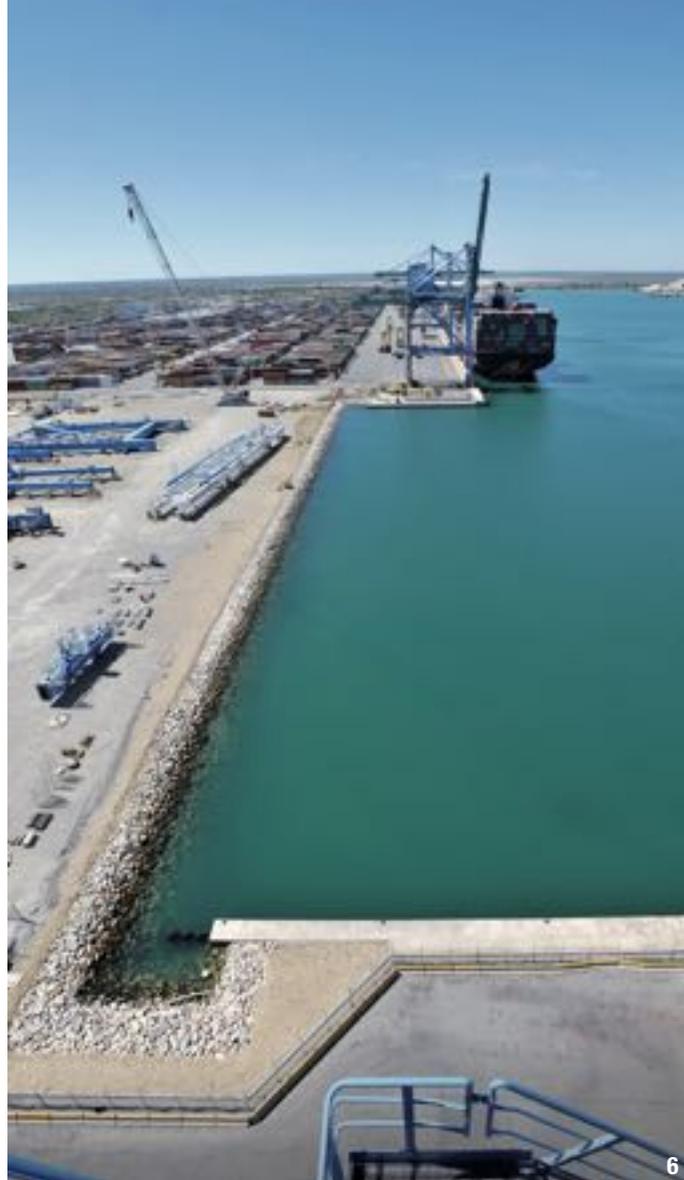
Parmi les autres travaux qui viennent d'être achevés, il faut citer le barrage anti-sel du Vigueirat. Il garantit le pompage de l'eau douce dans le canal d'Arles à Fos et a bénéficié d'une maintenance décennale de ses parties mécaniques.

Et sur les équipements d'infrastructure proprement dits ?

Sur les bassins Ouest, le réseau ferré portuaire de Fos a été renouvelé et modernisé : régénération des voies de ballast des voies principales (7,5 km), passage à une signalisation ferroviaire de dernière génération de type BAPR (Borne Automatique à Permissivité Restreinte) ce qui a permis, notamment, de multiplier par trois le nombre de trains pouvant circuler quotidiennement, qui est passé de 21 à 60 trains par jour. Cette opération était nécessaire pour améliorer la desserte ferroviaire à tous les terminaux et sites industriels.

Elle s'est accompagnée d'un passage au système GSM-R, qui assure l'interopérabilité du réseau ferré portuaire avec les réseaux ferrés européens. Ces investissements sont de nature à doper le fret ferroviaire et contribuer au développement du report modal, déjà en croissance de plus de 8% par an. Des projets de création à court terme de nouvelles infrastructures ferroviaires et de nouvelles lignes de fret ferroviaire en arrière des terminaux participeront également à la croissance du report modal.

Par ailleurs, sur les bassins Ouest, près de 3,2 M€ ont été investis dans la rénovation de postes d'attente existants et la création de nouvelles infrastructures pour les bateliers sur plusieurs secteurs des bassins Ouest. Cette augmentation des postes d'attente permettra une plus grande fluidité dans la gestion des opé-



© PORT DE MARSEILLE FOS

rations portuaires par la capitainerie et un gain de productivité pour les bateliers et les opérateurs fluviaux.

Ces opérations font partie de nos axes stratégiques : le trafic du port se développe mais nous cherchons aussi, parallèlement, avec le soutien de nos partenaires, à continuer de développer les pré- et post-acheminements massifiés, qu'ils soient fluviaux ou ferroviaires. De la qualité des dessertes massifiées dépendent les trafics d'aujourd'hui et de demain.

Sur l'axe Rhône-Saône, par exemple, nous atteignons 30 % de la part de

marché que nous estimons atteignable tandis que, sur le ferroviaire, nous en sommes à 10%.

Parmi les projets en cours, il faut évoquer la plateforme Piicto (Plateforme Industrielle et d'Innovation de Caban Tonkin). Piicto est un périmètre identifié de 1 200 hectares dont 600 sont disponibles pour la commercialisation à des implantations industrielles et des démonstrateurs technologiques de la transition énergétique. Le rôle du port est d'aménager ces espaces pour les accueillir et il aménage actuellement une zone de 12 hectares dite « Innovex » sur laquelle sera installé le projet Jupiter 1000 « Power to Gaz », d'ailleurs annoncé lors de la COP21. Ce projet de démonstrateur, basé dans la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer, propose une solution innovante et performante pour valoriser les excédents d'électricité renouvelable et recycler le CO₂. Sept partenaires français aux compétences complémentaires⁽¹⁾ et le port de Marseille Fos s'associent à GRTgaz pour construire ce premier démonstrateur dont la mise en service est prévue en 2018.

Le projet Jupiter 1000, d'un montant de 30 M€ et d'une puissance de 1 MWe, est la première installation à cette échelle de production en France.

Quelles sont les opérations en cours dans les bassins Est, c'est-à-dire côté Marseille ?

Parmi les travaux les plus importants en cours dans le bassin Est, le plus avancé est celui de l'élargissement de la passe Nord.

En effet, la tendance actuelle de l'économie maritime tend vers un allongement de la taille des paquebots de croisière et des porte-conteneurs. Marseille (hors Fos) a reçu en 2015 plus

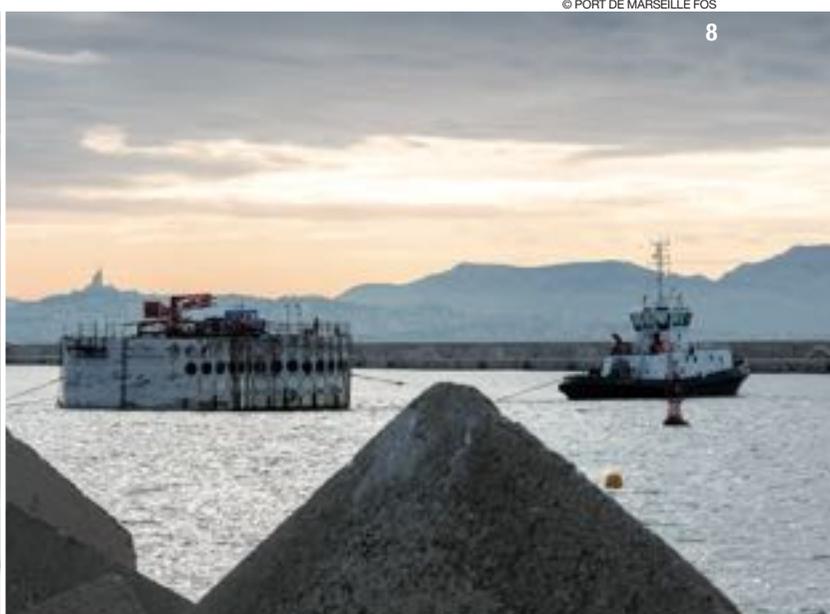
6- La « rotule » située sur le bassin Ouest, d'une longueur de 240 m.

7- Le chantier des caissons bi-lobés pour les digues du large et de Saumaty.

8- Remorquage d'un caisson pour la digue de Saumaty qui délimite la passe Nord.



© PORT DE MARSEILLE FOS



© PORT DE MARSEILLE FOS

OSEZ LE J1

Le port de Marseille a lancé le 28 juin dernier un appel à projet concernant un bâtiment emblématique situé dans le secteur de la Joliette : la halle portuaire J1, pièce maîtresse du prestigieux front de mer, à la jonction entre le Vieux-Port et le port de commerce sur la commune de Marseille.

La façade maritime de Marseille s'est transformée de façon spectaculaire en 15 ans. Les Marseillais ont ainsi vu naître : le Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MuCEM), la réhabilitation et la mise en valeur des anciens docks, une immense salle de spectacle (le Silo d'Arenc) ou encore un complexe commercial dont tous envient les vues remarquables qui surplombent le port : les Terrasses du port.

C'est aujourd'hui au tour de la halle J1, édifiée au début des années 1920, de retrouver sa place dans cet ensemble urbain et portuaire illustre.

Située à mi-chemin entre le MuCEM et les Terrasses du port, la halle J1 sert actuellement de gare maritime internationale permettant, au rez-de-chaussée, l'embarquement de véhicules sur les ferries en partance pour l'Algérie, et, au 1^{er} étage, l'accueil des passagers. Le second étage accueille l'Institut de formation du port et de nombreux événements prisés, organisés par la ville de Marseille depuis 2013, année où Marseille était capitale européenne de la culture.

Dernier témoin des hangars « J », le bâtiment est constitué de trois plateaux de 8500 m² et de terre-pleins en bord de bassin. Les candidats de l'appel à projet sont invités à imaginer des projets multi-activités pour cet ensemble bâti de plus de 25000 m².

Cet appel à projet du J1 porte l'ambition de mettre en valeur ce site unique en sélectionnant un projet d'envergure ouvert sur la ville et instaurant une nouvelle dynamique entre les Marseillais et leur port.



9



10

© PORT DE MARSEILLE FOS

de 170 navires supérieurs à 300 m. Il accueille désormais des paquebots de plus de 360 m de long. L'inflation de la taille des navires de croisière rend indispensable une adaptation des infrastructures portuaires pour que l'accès aux bassins de Marseille soit sécurisé.

Elargir la passe Nord de 190 à 240 m implique d'intervenir sur trois digues. La digue de Mourepiane, près du terminal à conteneur, a été raccourcie de 50 m en juin 2015, offrant depuis lors un espace d'évitement élargi devant le terminal de croisières.

9- L'ancienne halle portuaire J1 édiflée au début des années 1920.

10- Le projet J1 est appelé à devenir une pièce maîtresse du front de mer.

11- Chantier de reconstruction du bateau-porte de la forme de radoub n°10.

12- La forme de radoub n°10 est l'une des plus grandes au monde.

Le port conduit actuellement le raccourcissement de 50 m de la digue de Saumaty, ouvrage qui délimite la passe Nord. Enfin, la digue du Large vient d'être prolongée de 60 m vers le large pour que le bassin portuaire baignant les terminaux conteneurs et croisières bénéficie des conditions d'agitation similaires à celles avant les travaux. Les musoirs des digues de Saumaty et du Large ont été reconstitués avec la mise en place de trois caissons, un pour Saumaty, deux pour la digue du Large. Ces ouvrages monumentaux bénéficient d'une forme innovante, bi-lobés

(2 lobes), ajourée et circulaire. Chaque caisson est perforé en partie haute de trous qui permettront d'absorber la puissance de la houle.

Construits en partie dans la forme de réparation navale n°10, les trois caissons en béton mesurent 30 m de long et atteignent une hauteur de 12 m, soit la moitié de leur hauteur finale.

Une fois la forme de radoub mise en eau, ils flottent malgré leurs 4500 t respectives. Ils ont alors été tractés un à un à l'aide de deux remorqueurs sur une distance de 2,5 km jusqu'au poste 123 de la digue du large. ▷

© PORT DE MARSEILLE FOS

11



© PORT DE MARSEILLE FOS

12



Leur construction s'y est poursuivie à flot jusqu'à atteindre leur hauteur finale de 22 m, l'équivalent d'un immeuble de 9 à 10 étages.

Un premier caisson a été alors remorqué jusqu'à l'extrémité de la digue de Saumaty où il a été échoué. Les deux derniers ont été à leur tour remorqués vers l'extrémité de la digue du Large et coulés à -18 m sur une plateforme sous-marine constituée d'enrochements après que 10 000 t de béton y aient été injectés.

Le plus lourd des caissons pèsera alors 15 000 t, l'équivalent de deux tours Eiffel (7 300 t).

Alors que les tests du nouveau bateau-porte de la forme de radoub 10 sont en cours, après une rénovation totale de cet ouvrage hors du commun, le premier paquebot en réparation navale est attendu dans les prochaines semaines. Avec 465 m de long, 85 m de large, 11 m de hauteur d'eau, la forme 10 est l'une des plus grandes au monde. Avec la remise en service de la forme 10, le port de Marseille Fos crée un pôle de réparation navale industrielle exceptionnel constitué d'un ensemble de trois bassins avec les formes 8 et 9 et redynamise durablement ce secteur d'expertise industrielle du territoire. Grâce à ses dimensions spectaculaires, la forme 10 répond aux besoins des plus grands navires en opération et notamment au marché de la croisière dont les navires de plus de 360 m de long escalant à Marseille, premier port de croisières de France, nécessitent des bassins d'échouage à la mesure de leur taille et à proximité de leur zone d'exploitation. Elle offre également de nouvelles opportunités pour la réparation des paquebots de croisière, des navires offshore, de gaziers, vraquiers ou porte-conteneurs.



13

© PORT DE MARSEILLE FOS

Dans le secteur du trafic ferrys, notamment avec la Corse ?

Dans ce domaine, le port de Marseille Fos et La Méridionale sont les premiers acteurs maritimes français et de méditerranée à concrétiser le branchement électrique des navires à quai avec le système CENAQ (Connection Electrique des Navires à Quai).

Depuis janvier 2017, les trois navires de la compagnie maritime n'utilisent plus leurs moteurs pour produire de

l'électricité pendant la durée de leurs escales dans le port phocéen. Il en résulte moins de bruit et l'élimination totale de la pollution atmosphérique. À l'issue de 6 mois de travaux qui ont été engagés côté port et après l'adaptation des navires finalisée côté armateur, le Kalliste, le Girolata et le Piana s'alimentent en électricité en se branchant directement depuis le quai au réseau haute-tension.

Cette solution intéressante ne peut être déployée sans un aménagement spécifique à l'intérieur des navires mais d'autres alternatives s'offrent aux armateurs comme l'installation sur les cheminées des ferrys de filtres à particules (scrubbers) ainsi que de la mise en œuvre de navires full GNL. Avec deux terminaux méthaniers (sur les quatre en France), le port de Marseille se positionne dès maintenant comme port avitailleur naturel de ces navires du futur.

Le port de Marseille Fos participe également au projet d'extension sur la mer de Monaco. Comment l'opération se déroule-t-elle ?

Dans le cadre de la conception et de la réalisation du nouvel éco-quartier de l'Anse du Portier à Monaco, Bouygues Travaux Publics s'est vu confier les travaux de l'infrastructure maritime qui servira de socle à l'extension en mer de la Principauté.

Cette infrastructure maritime sera constituée d'une ceinture de protection de caissons en béton armé et de remblais.

C'est dans le port de Marseille Fos que ces caissons sont préfabriqués depuis septembre 2017.

En effet, il s'est avéré être le lieu idéal, disposant de l'espace nécessaire, d'un tirant d'eau de 22,5 m et des

13- Le nouveau bateau-porte.

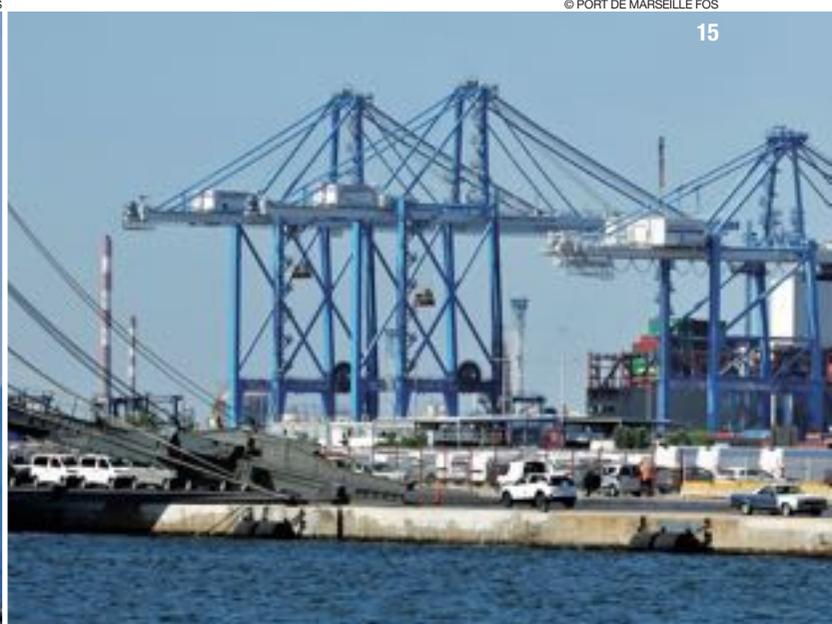
14- Le branchement électrique des navires à quai avec le système CENAQ.

15- Les nouveaux portiques à conteneurs géants récemment installés dans le bassin Ouest.



14

© PORT DE MARSEILLE FOS



15

© PORT DE MARSEILLE FOS



16
© PORT DE MARSEILLE FOS

infrastructures adaptées à l'accueil de grands projets industriels.

L'usine de préfabrication est installée dans les bassins Est du port, sur des surfaces louées pour l'occasion au Port.

La zone de préfabrication des caissons se compose d'un espace de 10 000 m² à quai qui permettra notamment d'assurer les travaux préparatoires de ferrailage et du montage des coffrages des caissons.

Elle comprend également une zone de 32 000 m² sur le plan d'eau où sera positionné un « caissonnier » ou dock flottant. Ce caissonnier de 56 m de long, 50 m de large et 27 m de haut est une première en France. Il permettra de préfabriquer les 18 caissons. Hors d'eau, la première étape consiste à réaliser le radier de chaque caisson et les dix premiers mètres de voile béton via un coffrage glissant.

Sous le poids du caisson en cours de construction, le pont du caissonnier est progressivement immergé permettant ainsi de finaliser le coulage des voiles béton.

Le caisson est ensuite mis en flottaison et sorti du caissonnier pour être remorqué jusqu'au poste où seront réalisés les poteaux en béton constituant le mur brise vague de type Jarlan.

Bouygues Travaux Publics a trouvé dans le port de Marseille Fos les conditions idéales pour implanter cette véritable usine : des surfaces susceptibles d'accueillir ses installations terrestres

16- L'ancienne base sous-marine construite en 1944 et les ateliers de chaudronnerie Fouré.

17- Le projet Interxion MRS2.

18- Vue d'ensemble du bassin Est.

19- La digue du large avec, en arrière-plan, la basilique Notre Dame de la Garde.



17
© PORT DE MARSEILLE FOS

et flottantes ainsi que des profondeurs d'eau suffisantes (22,5 m) pour accueillir le caissonnier.

La présence des centrales à béton Lafarge et CEMEX sur le port dans le bassin Est permet par ailleurs d'assurer l'alimentation rapide et continue du chantier.

Outre l'opération Jupiter 1000 « Power to Gaz », Marseille Fos a-t-il dans ses cartons d'autres réalisations innovantes en cours ?

La première pierre du data center d'Interxion MRS2 a été posée le 29 juin 2017.

Interxion est le deuxième opérateur mondial de data centers. La société conçoit, construit et gère des data centers neutres qui ont vocation à héberger les infrastructures informatiques physiques de ses clients.

Le MRS2 sera implanté dans les anciens ateliers de chaudronnerie Fouré Lagadec ainsi que dans l'ancienne base sous-marine construite par les Allemands en 1944 et d'ailleurs jamais utilisée.

Ce centre permettra à Interxion d'offrir de l'espace disponible à ses clients - connectivité, cloud et digital media - souhaitant positionner leurs équipements IT dans la cité phocéenne.

L'extension des capacités de data center de cet opérateur est aussi l'opportunité pour le port de Marseille Fos de valoriser d'anciennes installations sous-utilisées. Interxion va investir entre 150 et 180 M€ sur les deux sites. Cette réalisation est à mettre en regard avec la démarche de smart port initiée par le port de Marseille Fos qui a pour objectif l'accompagnement et l'intégration des filières de l'économie numérique dans les activités portuaires afin d'ouvrir de nouvelles opportunités prometteuses en termes de création de valeur et d'emploi pour le territoire.

Hub de marchandises et de passagers de classe mondiale, le port de Marseille-Fos devient un hub de data en accompagnant le développement des projets de câbles sous-marins. □

1- Atmosstat, le CEA, CNIR, Leroux et Lotz Technologies, McPhy Energy, TIGF.

18
© PORT DE MARSEILLE FOS



19
© MARC MONTAGNON





1
© SEINE GRANDS LACS

SEINE GRANDS LACS

GESTION DU GRAND CYCLE DE L'EAU

UNE POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE RENOUVELÉE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

"SEINE GRANDS LACS" EST UN ÉTABLISSEMENT PUBLIC TERRITORIAL DE BASSIN (EPTB) CRÉÉ EN 1969 SOUS LE NOM D'INSTITUTION INTERDÉPARTEMENTALE DES BARRAGES-RÉSERVOIRS DU BASSIN DE LA SEINE. DEPUIS MARS 2017, IL EST DEvenu SYNDICAT MIXTE À PÉRIMÈTRE CONSTANT DANS LE CONTEXTE LÉGISLATIF VOULU PAR LES LOIS MPTAM ET NOTRe (2014 ET 2015) ET LA NOUVELLE COMPÉTENCE GEMAPI (GESTION DE L'EAU DES MILIEUX AQUATIQUES ET PRÉVENTION DES INONDATIONS). MARC VINCENT, DIRECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES TECHNIQUES DE SEINE GRANDS LACS, FAIT LE POINT SUR LES RÉALISATIONS RÉCENTES DU SYNDICAT ET SUR SES PROJETS.

Regroupant les départements de l'ancienne Seine, il assure la mission d'écrêter les crues d'hiver et de printemps de la Seine et de ses principaux affluents (l'Yonne, la Marne et l'Aube) et de soutenir leurs débits en été et en automne. L'EPTB Seine Grands Lacs agit dans le cadre du plan Seine en faveur

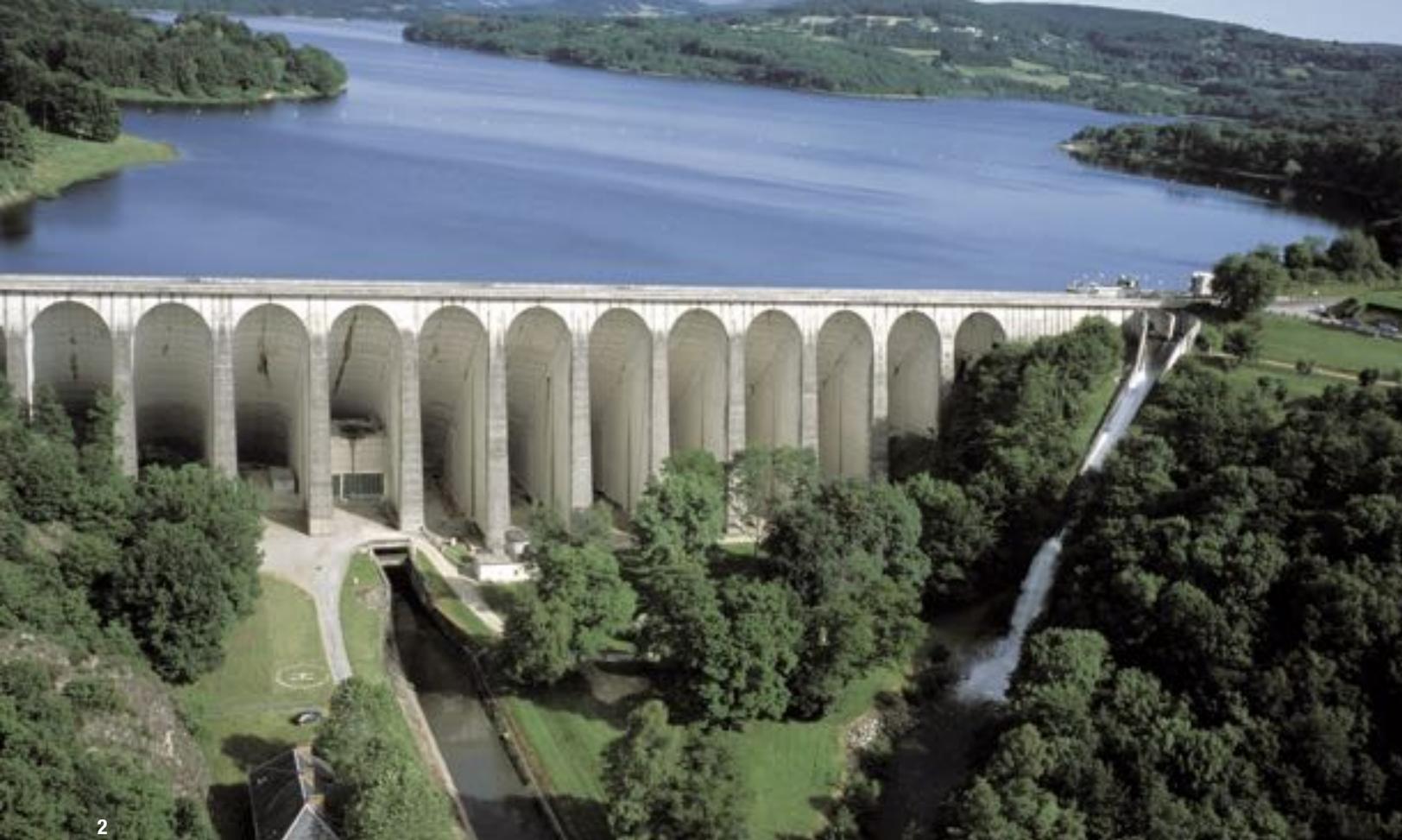
de la réduction de la vulnérabilité des territoires aux inondations. Il est constitué de quatre membres : la Ville de Paris et les trois départements de la Petite Couronne (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne). Son territoire couvre l'ensemble du bassin amont de la Seine, jusqu'à la confluence avec l'Oise, soit une

superficie de 47 000 km². La prochaine étape sera d'élargir sa gouvernance au-delà de la seule agglomération parisienne. À cet effet, il est en discussion avec l'ensemble des collectivités de l'amont du territoire concerné, principalement les établissements intercommunaux et les syndicats de rivière, appelés à devenir

des EPAGE⁽¹⁾ qui ont désormais en charge la compétence liée à la prévention des inondations et à la gestion des milieux aquatiques.

PROTÉGER PARIS ET SON BASSIN AMONT

Il s'appelait autrefois "Grands lacs de Seine". Par extension, le terme "grands



2

© SEINE GRANDS LACS

lacs de Seine" évoque également l'ensemble des lacs artificiels, situés en Bourgogne et Champagne-Ardenne, construits et gérés par cet établissement. Leur superficie totale est de 101 km², ce qui équivaut à celle de la ville de Paris.

L'établissement s'est constitué dans les années 1920, suite à la grande crue de 1910 qui a provoqué d'importants dégâts dans Paris. Une deuxième grande crue a été observée en 1924 après une vague de sécheresse en 1921.

L'ensemble de ces événements a poussé les autorités parisiennes de l'époque, constatant la grande vulnérabilité de Paris vis-à-vis de l'eau, tant en termes d'approvisionnement qu'en présence de crues, à mettre en place un programme de prévention. Ainsi est

1- Vue amont du barrage de Pannecière, un ouvrage à voûtes multiples minces.

2- Vue aval du barrage de Pannecière, mis en eau en décembre 1949.

3- Marc Vincent, directeur général des services techniques de Seine Grands Lacs.

4- Frédéric Molossi, président de l'EPTB Seine Grands Lacs.

née l'idée de construire des barrages en amont de la capitale à la fois pour la protéger des dommages dus aux crues et pour réaliser du soutien d'étiage en période de sécheresse.

Deux sites ont été mis en évidence, loin en amont de Paris : le Morvan, c'est-à-dire le bassin de l'Yonne, constitué de terrains granitiques relativement imperméables, favorables au stockage d'eau, ainsi que la Champagne humide, essentiellement argileuse.

Plusieurs ouvrages ont ainsi été construits petit à petit. Le premier est le lac-réservoir de Pannecière, un ouvrage à voûtes multiples minces, au fil de l'eau sur le cours de l'Yonne, conçu par l'équipe d'André Coyne et mis en eau en décembre 1949.

Il fut suivi du lac-réservoir Seine ou lac d'Orient en 1966, alimenté par la Seine

en amont de Troyes, puis du lac-réservoir Marne ou lac du Der-Chantecoq, en 1974, alimenté par deux canaux d'amenée sur la Marne et sur la Blaise. Le dernier ouvrage, mis en service en 1990, est le lac-réservoir Aube, dont les deux lacs du Temple et d'Amance sont reliés par un canal de jonction de 1,5 km de longueur.

Le principe d'exploitation, déterminé par un règlement d'eau défini par arrêté préfectoral, est identique pour les quatre lacs-réservoirs.

Ce règlement définit les différents volumes d'eau que doit contenir l'ouvrage ainsi que le débit minimum à maintenir dans chacun des cours d'eau d'alimentation concernés (débit réservé) et le débit objectif maximum à ne pas dépasser, dans la mesure du possible (débit de référence). ▷



3



4

© MARC MONTAGNON



5

© SEINE GRANDS LACS

Sur ces bases, le remplissage, qui démarre en principe le 1^{er} novembre, s'effectue suivant une courbe définissant les objectifs mensuels. Le remplissage s'achève fin juin. C'est la période pendant laquelle les inondations sont les plus fréquentes. La courbe est optimisée de telle manière que chaque crue importante pendant cette période puisse être écrêtée, via un stockage temporaire. De juillet à octobre, le réservoir est progressivement vidé, de façon à soutenir les étiages. Cette vidange peut se prolonger en novembre et décembre en cas de saison très sèche. Le début du remplissage ou du soutien d'étiage peut varier selon les

nécessités dues aux aléas climatiques. Le soutien d'étiage répond à plusieurs fonctions : la fourniture d'eau potable pour l'agglomération parisienne ainsi que celles situées le long des cours d'eau, le maintien d'un débit suffisant avec une eau de bonne qualité pour ne pas perturber la vie aquatique, l'alimentation des installations industrielles notamment la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine, en amont de Paris, un niveau compatible avec la navigation et l'irrigation des terres agricoles. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la Seine est un "petit" fleuve très vulnérable dont il convient de surveiller la vie avec une extrême atten-

5- Les différents ateliers au travail sur le canal d'aménée Seine.

6- Les trois vannes-wagons en béton du canal d'aménée Seine.

7- Curage des sédiments dans le canal d'aménée.

8- Mise en place des matériaux pierreux et du matériau filtre dans le canal.

9- Travaux de bétonnage sur les berges du canal.

tion car son débit d'étiage peut être très bas.

« Le changement climatique prévisionnel n'est d'ailleurs pas sans nous inquiéter, indique Marc Vincent, car toutes les projections récentes montrent que les débits dans la Seine risquent de diminuer fortement dans les années à venir pendant les périodes d'étiage. Il n'est pas certain que les soutiens d'étiage auxquels nous procédons soient suffisants dans l'avenir. Il en est de même en ce qui concerne le risque inondation et nous réfléchissons dès maintenant à d'autres solutions avec, notamment, la création d'un cinquième site ».



6



7



8



9

© SEINE GRANDS LACS

© SEINE GRANDS LACS



© SEINE GRANDS LACS 10

DES TRAVAUX AU PHASAGE COMPLEXE

Les quatre lacs-réservoirs représentent un patrimoine évalué à un milliard d'euros, qu'il convient d'entretenir.

Pour y parvenir, Seine Grands Lacs réalise annuellement des travaux d'un montant global de l'ordre de 10 millions d'euros.

Plusieurs exemples de chantiers récents mettent en évidence la diversité des problèmes qui surgissent sur des ouvrages pour la plupart anciens et comment ils sont résolus dans un strict respect de l'environnement au sens le plus large du terme.

10- Vue amont du barrage de Pannecière avant les travaux à l'issue de la vidange du lac de retenue.

11- Les travaux sur les voûtes sont réalisés à l'aide de nacelles spécialement adaptées à leur forme.

12- Traitement des fissures sur les différentes voûtes.

Le déversoir d'extrémité du canal d'aménée Seine qui assure l'alimentation du lac d'Orient est équipé de trois vannes-wagons en béton. Les rails de guidage de l'une d'entre elles ont été remplacés en 2015 pour un montant de 500 000 €. Leur revêtement qui contenait de l'amiante a également été décapé et remplacé. Les musoirs en béton ont été reconstruits et l'ensemble des revêtements a été refait en 2016 et 2017. L'ultime étape du programme est la réhabilitation du revêtement en béton bitumineux du canal d'aménée Seine sur un linéaire de 12 100 m : entre 2011 et 2017, le béton bitumineux a

été remplacé par des dalles en béton armé sur massif filtrant, avec matelas de gabions en partie basse. Ces travaux, réalisés par le groupement Léon Grosse/Paul Calin ont permis de faire passer la capacité hydraulique de l'ouvrage de 80 à 180 m³/s.

« Ces travaux se déroulent pendant un laps de temps très court, précise Marc Vincent, à l'issue du remplissage du lac et après vidange du canal. Ils doivent être achevés avant la remise en eau début novembre avec la contrainte d'un repli immédiat du chantier en cas de crue subite. C'est ce qui s'est passé fin mai 2016 où il a été nécessaire de remettre en eau le canal afin d'encaisser la crue pour assurer, notamment, la protection de l'agglomération de Troyes. Le chantier a été interrompu et n'a pu reprendre qu'à l'issue d'une nouvelle vidange du canal. Néanmoins, les travaux ont pu être achevés avant la date limite de novembre pour permettre le remplissage du lac-réservoir ».

À ceci s'ajoutent des contraintes environnementales : tous ces lacs ont une vocation touristique - voile, motonautisme, baignade - mais représentent aussi une richesse en termes de faune et de biodiversité dont il faut tenir compte lors du lancement des travaux : le lac Marne est devenu l'un des centres d'arrêt, à l'automne, des grues en migration, quant au lac Seine, il abrite une faune sauvage de cerfs et de sangliers très importante qui s'est développée sur des zones préservées qui constituent d'ailleurs un parc naturel et une réserve nationale. ▷



© SEINE GRANDS LACS 11



12



13



14

© SEINE GRANDS LACS

Les méthodes d'entretien ont été adaptées à ces contraintes : les produits herbicides sont désormais bannis.

Des travaux sont entrepris afin de faciliter l'entretien des ouvrages.

Un exemple est fourni par la réhabilitation du pied de la digue de la Morge, sur le lac-réservoir Seine. Le fossé de pied était composé de dalles en béton vétustes et dégradées à l'aval et d'enrochements dont l'entretien était devenu très difficile. Le profil du fossé a été modifié et le revêtement remplacé par des caniveaux en béton qui permettent un suivi plus aisé des circulations d'eau tout en simplifiant l'entretien. Une démarche identique est suivie pour la réhabilitation des chemins de service, par exemple sur le canal d'amenée Seine. Ces chemins de service sont sujets au développement de la végétation et, par leur conception, permettent l'infiltration d'eau sous les dalles de la cuvette hydraulique. L'opération a consisté à renforcer l'étanchéité des chemins par renforcement de la structure et mise en place d'une grave-bitume, contribuant à minimiser le développement de la végétation.

LE RENOUVEAU DU BARRAGE DE PANNECIÈRE

Le barrage de Pannecièrre, situé dans le Morvan, dont la mission du lac-réservoir est de réguler les débits de l'Yonne et de la Seine, est le plus ancien des ouvrages gérés par Seine Grands Lacs : sa mise en service remonte à 1949. Sur cet ouvrage de plus de 60 ans, un "lifting" était nécessaire.

Ce barrage est constitué de 13 voûtes minces et 12 contreforts. Il comporte

également un évacuateur de crue, une usine hydro-électrique concédée à EDF, une usine d'approvisionnement en eau potable gérée par un syndicat intercommunal ainsi que des bondes de fond pour assurer la vidange de la retenue de 80 millions de mètres cubes.

L'ouvrage a été vidangé à deux reprises en 2001 pour effectuer un diagnostic complet de la structure en voûtes multiples et contreforts et en 2011 pour réaliser les travaux.

« Le diagnostic a mis en évidence que les conditions de stabilité de l'ouvrage

13- Pose des boutons de renforcement de la structure par rapport au risque sismique.

14- Pose d'une géomembrane sur l'ensemble de la voûte du barrage.

15- Réalisation des massifs en béton armé complémentaires au pied des voûtes.

étaient bien assurées, indique Marc Vincent. En revanche, des contraintes de traction élevées sont apparues en pied amont des voûtes ainsi qu'une tendance très faible à la dérive vers l'aval des déplacements et des fissurations des voûtes en partie haute. Les piézomètres ont également fait apparaître des fuites d'eau montrant que le voile d'injection réalisé sous le barrage lors de sa construction n'était sans doute plus complètement performant ». Il a été proposé de retirer en totalité le parement amont qui était recouvert



15

© SEINE GRANDS LACS



© SEINE GRANDS LACS

16

QUATRE LACS-RÉSERVOIRS AU CŒUR D'UN BASSIN

Instruments essentiels des missions de l'EPTB, les quatre lacs-réservoirs sont implantés sur des terrains imperméables : massifs granitiques du Morvan, argiles de Gault de la Champagne humide.

Vastes étendues d'eau fermées par des digues, ils sont établis, soit directement sur le cours d'une rivière comme c'est le cas du lac de Pannecièrre sur l'Yonne, soit en dérivation de celles-ci par l'intermédiaire de canaux comme le sont les lacs-réservoirs Seine, Marne et Aube.

Érigés pour écrêter les crues en période hivernale et soutenir le débit de rivières en période sèche, ils ont été mis en eau au cours du XX^e siècle.

LE LAC-RÉSERVOIR MARNE

- 4 800 hectares,
- 349 millions de mètres cubes,
- 20,3 km de digues de terre,
- 2 900 km² de bassin versant contrôlé.

LE LAC-RÉSERVOIR SEINE

- 2 320 hectares,
- 208 millions de mètres cubes,
- 5,7 km de digues de terre,
- 2 380 km² de bassin versant contrôlé.

LE LAC-RÉSERVOIR AUBE

- 2 320 hectares,
- 170 millions de mètres cubes,
- 13,5 km de digues de terre,
- 1 650 km² de bassin versant contrôlé.

LE LAC-RÉSERVOIR DE PANNECIÈRE

- 2 520 hectares,
- 80 millions de mètres cubes,
- 49 m de hauteur du barrage,
- 352 m de longueur en crête du barrage,
- 220 km² de bassin versant contrôlé.

16- Construction du batardeau amont pour créer une réserve d'eau.

17- Le coffrage unique mis en œuvre pour le renforcement du socle.

structure vis-à-vis des sollicitations venant des rives par deux rangées de butons en partie supérieure.

Les contraintes de traction au pied des voûtes ont été supprimées par des massifs en béton complémentaires en béton armé. Par ailleurs, l'ensemble du système d'auscultation a été renouvelé.

Les travaux se sont accompagnés d'importantes mesures de protection de l'environnement notamment par la création de réserves d'eau en aval pour répondre aux besoins des utilisateurs divers, en particulier pour conserver l'alimentation en eau potable des 2 000 usagers du SIAEPA de Pannecièrre. Un batardeau a été construit en amont pour créer la réserve et, parallèlement, plusieurs interventions ont été menées sur l'ouvrage lui-même : purge des sédiments au pied des voûtes, désamiantage par ponçage et aspiration, ▷

d'une couche de peinture incluant de l'amiante, de refaire l'étanchéité et de la recouvrir d'une membrane imperméable afin d'éviter les percolations d'eau qui entretiennent une réaction de gonflement du béton.

Les fissures ont été injectées, le voile d'injection a été renforcé et le système de drainage rénové. La mise en conformité par rapport au risque sismique a été réalisée par renforcement de la



17

© SEINE GRANDS LACS

restauration du revêtement gunité, injection des fissures par l'amont, renfort de l'une des voûtes, pose de la géomembrane...

LE SITE PILOTE DE LA BASSÉE

La Bassée est appelée à devenir le cinquième site Seine Grands Lacs. Actuellement au stade d'étude du site pilote, il constituera un ouvrage de rétention temporaire des crues exceptionnelles, tout en poursuivant également un but de valorisation écologique de cette vaste zone humide naturelle.

La Bassée est une grande plaine située en amont de Marolles-sur-Seine, faisant office de zone naturelle d'expansion des crues de la Seine, mais dont

18- Le site de La Bassée tel qu'en lui-même.



18

© SEINE GRANDS LACS

S'ADAPTER AUX ÉVOLUTIONS LÉGISLATIVES EN FONCTION DES BESOINS ET DES DEMANDES

2 questions à Frédéric Molossi, président de l'EPTB Seine Grands Lacs

Quelles sont les dernières évolutions de l'EPTB Seine Grands Lacs en matière de gouvernance ?

L'EPTB Seine Grands Lacs était, jusqu'au 29 mars 2017, l'institution interdépartementale des barrages-réservoirs de la Seine, fondée en 1969. Elle était financée pour l'essentiel par les quatre départements de la petite couronne parisienne (Paris, Seine Saint-Denis, Val-de-Marne et Hauts-de-Seine), auxquels s'est ajoutée depuis 2013 une redevance pour soutien d'étiage, financée par des industriels qui prélèvent de l'eau dans la Seine et ses affluents. Cette redevance, d'un montant de 7,5 millions d'euros, est destinée à contribuer à l'entretien, la maintenance et la modernisation des quatre ouvrages dont nous avons la gestion et qui remplissent une double mission : l'écrêtement des crues et le soutien d'étiage.

Deux lois sont intervenues en 2014 et 2015 - la loi NOTRe et la loi MAPTAM - qui ont chacune des incidences sur le fonctionnement de notre institution et son évolution. Elles ont introduit la disparition générale de la clause de compétence pour les collectivités territoriales en spécialisant leurs champs d'action. Elles ont également introduit une nouvelle compétence qui est la GEMAPI (Gestion de l'Eau des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) qui regroupe un certain nombre d'éléments constitutifs de ce que l'on appelle le "grand cycle de l'eau". La GEMAPI est fléchée en direction du bloc communal et, plus particulièrement, les EPCI⁽²⁾ à fiscalité propre, c'est-à-dire les communautés d'agglomération et les métropoles, lorsqu'elles existent.

Cela remet en cause pour les Départements, à l'horizon 2020, la possibilité de poursuivre le financement qui est historiquement le leur en matière, notamment, de prévention du risque inondation, les limitant à ce qui relève du soutien d'étiage. Ensuite, est intervenue l'obligation d'évoluer en syndicat mixte ouvert, c'est-à-dire de travailler sur l'élargissement de la gouvernance, en direction des métropoles là où elles existent mais aussi des EPCI à fiscalité propre.

Donc, nous avons engagé en juin 2016 autour, à la fois, de nos membres actuels et de la Métropole du Grand Paris mais aussi des communautés d'agglomération de Troyes et de Saint-Dizier, situées sur des territoires à haut risque d'inondation (TRI), et des syndicats de rivière, un travail sur l'évolution de la gouvernance avec, pour

objectif, d'en intégrer un certain nombre, dont la Métropole du Grand Paris dans la future gouvernance du syndicat mixte.

Nous avons franchi une première étape, plus à caractère technique, qui était la transformation de l'EPTB en syndicat mixte en maintenant le périmètre de la gouvernance tel qu'il était en date du 29 mars 2017.

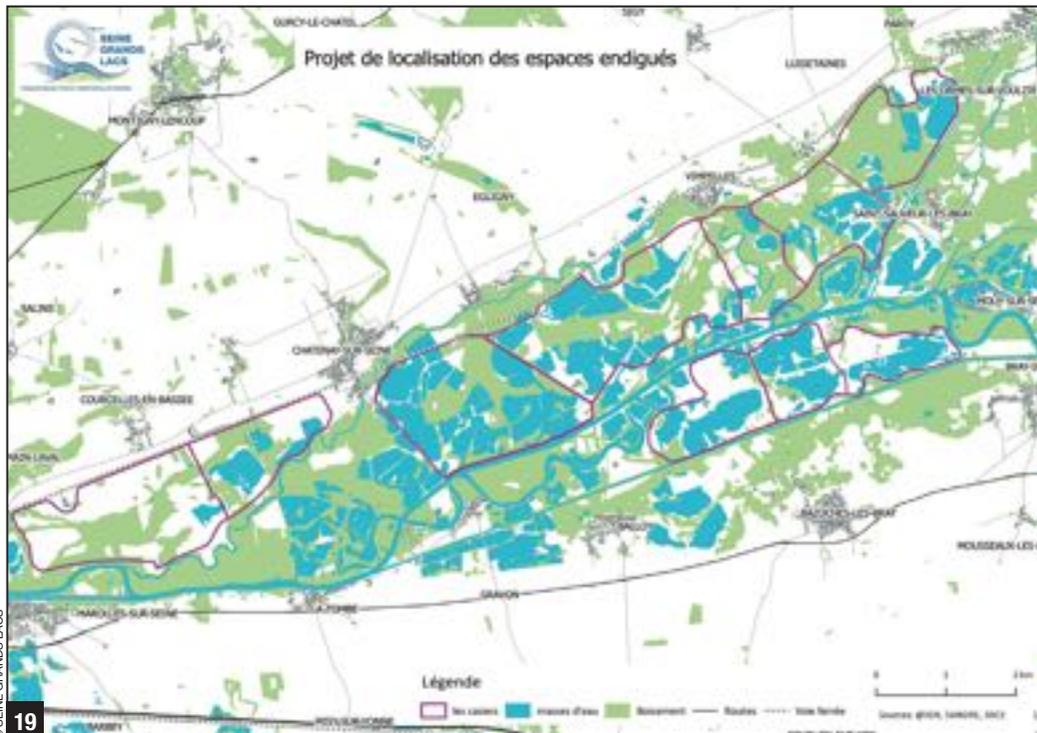
Nous poursuivons nos travaux pour élargir notre périmètre de gouvernance avec, nous l'espérons d'ici la fin 2017, l'entrée de nouveaux membres, et tout particulièrement les trois que je viens de citer : la Métropole du Grand Paris mais aussi, des territoires en amont de la capitale, dont Troyes Champagne Métropole et la Communauté d'agglomération de Saint-Dizier.

Pourquoi cette ouverture vers des territoires en amont ?

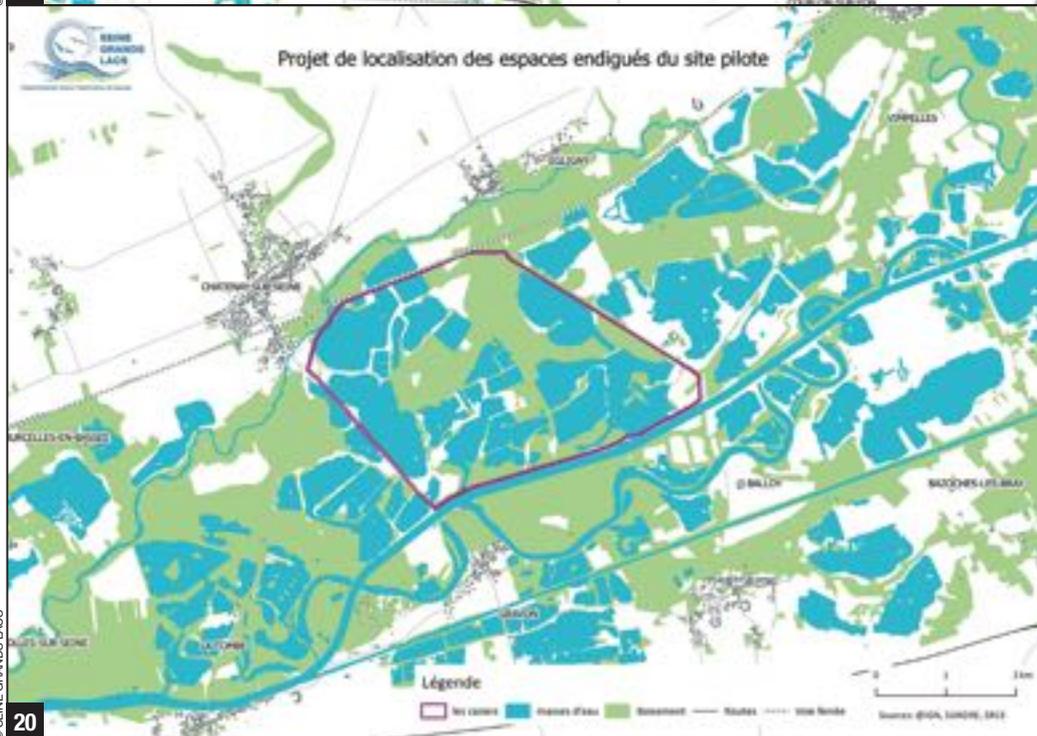
Il nous semble évident que gérer la prévention des inondations, mais aussi la question du soutien d'étiage, qui devient un sujet majeur dans des périodes où les épisodes de sécheresse sont plus fréquents et où la préservation de la ressource, tant en quantité qu'en qualité, est de plus en plus délicate, n'a de sens que si ces deux missions peuvent être effectuées à l'échelle du bassin et certainement pas de manière morcelée, collectivité par collectivité. Une vision globale s'appuyant sur la solidarité amont-aval permet de garantir la cohérence de l'intervention publique qui est le ciment d'une politique efficace, aussi bien en matière de soutien d'étiage que d'écrêtement des crues.

La deuxième étape devra intervenir d'ici la fin de l'année 2017 avec, je l'espère, l'adhésion, de nouveaux membres, pour gérer la GEMAPI qui va devenir une compétence obligatoire à partir du 1^{er} janvier 2018, mais aussi les deux années de transition que seront 2018 et 2019, pendant lesquelles les Départements pourront continuer à financer les opérations telles qu'ils le font aujourd'hui tandis que les EPCI à fiscalité propre et les métropoles devront définir le niveau de protection dont ils veulent se doter contre le risque inondation.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



19



20

la partie aval n'est plus inondable suite au recalibrage du fleuve. Marc Vincent précise les caractéristiques du projet : « L'objectif est d'aménager cette plaine de 2300 hectares en organisant le stockage temporaire des crues à l'intérieur de casiers constitués à l'intérieur de 58 km de digues, remplis majoritairement par pompage (230 m³/s) et ponctuellement de manière gravitaire. Ceci permettrait de diminuer de 20 à 40 cm les niveaux d'eau à Paris en cas d'inondation, et

19- Projet de localisation des espaces endigués de l'ensemble du site de La Bassée.

20- Le premier casier du site-pilote à hauteur de Chatenay-sur-Seine.

de réduire de 30 % les dommages, soit une économie de 70 millions d'euros en moyenne annuelle. Le remplissage s'effectuerait pendant 2 à 3 jours et la vidange serait réalisée gravitairement pendant une durée variable de 15 jours à 6 semaines. La hauteur moyenne d'eau dans les casiers serait de 2,50 m et l'ouvrage serait mobilisé en moyenne tous les 7 à 10 ans, uniquement en cas de forte crue ».

Le projet global pourrait stocker 55 millions de m³ et le site pilote entre 8 et

9 millions de m³. Le coût de l'opération est évalué à 600 millions d'euros dont 100 millions d'euros pour le site pilote. À la suite d'un débat public réalisé en 2010-2011, qui a confirmé l'intérêt du projet et sa compatibilité avec les usages actuels (exploitation de granulats, pêche, chasse, loisirs...) Seine Grands Lacs a choisi d'aménager un premier site pilote, représentatif, fonctionnel et expérimental.

À l'issue d'une analyse multicritères, l'emplacement du site pilote et des zones potentielles de valorisation écologique a été validé en 2015. Le site pilote permettra de stocker, en période de forte crue, un volume de près de 9 millions de m³ dans un espace de 400 hectares délimité par environ 8 km de digues.

Suite au choix du site pilote et des principaux sites potentiels de valorisation écologique, 2016 a été l'année de la réalisation des inventaires environnementaux complémentaires sur ces zones et leurs abords.

En janvier 2017, les élus de Seine Grands Lacs ont procédé à la sélection du groupement de maîtrise d'œuvre constitué de Setec-Hydratec, Artelia, Ecosphère et LWA.

Ces derniers ont débuté leur prestation en mars 2017. Le groupement réalisera les études de conception détaillée du site, l'intégration paysagère du projet, les études réglementaires (permettant notamment l'autorisation des travaux) et enfin le suivi des travaux.

« Il s'agit d'une prestation essentielle pour la réussite du projet, ajoute Marc Vincent, puisqu'elle permettra d'allier la meilleure efficacité hydraulique et le moindre impact écologique. Le groupement assurera le suivi du projet jusqu'à sa mise en service qui pourrait intervenir en 2023 ».

La crue de juin 2016 a fortement touché l'Île-de-France. Cet épisode atypique a été formé par une montée des eaux très violente sur les affluents de la Seine tels que le Loing ou l'Yerres et a provoqué la crue la plus importante observée à Paris depuis 1982.

S'il avait été opérationnel à cette date, l'aménagement de la Bassée aurait été sollicité durant cet événement pendant quelques jours, permettant de limiter de manière significative les niveaux de crues entre Montereau et Paris. □

1- **EPAGE** : Établissement Public d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

2- **EPCI** : Un établissement public de coopération intercommunale (EPCI) est une structure administrative regroupant plusieurs communes.



1
© F. HENRY - AUTEURS DE VUES

PASSAGE SOUS FLUVIAL DE KÉRINO

AUTEURS : SAÏD EL BARKAOUI, DIRECTEUR AGENCE DE RENNES, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - STÉPHANE PLAGNOL, DIRECTEUR TECHNIQUE, GTM OUEST - FRÉDÉRIQUE BAUDOIN, CHEF DE PROJET, INGÉROP CONSEIL ET INGÉNIERIE

LE TUNNEL KÉRINO ET SES TRÉMIES D'ACCÈS PERMETTENT DE FINALISER LA LIAISON ENTRE LES QUARTIERS SUD-OUEST ET SUD-EST DE VANNES, ET DE CONSTITUER AINSI UNE CEINTURE SUD DE LA VILLE DE VANNES. DANS UN ENVIRONNEMENT URBAIN ET MARITIME, LE RECOURS À DES MÉTHODES CONSTRUCTIVES À FORTE TECHNICITÉ ET NOTAMMENT LA RÉALISATION D'UN BATARDEAU COMPLEXE COMPOSÉ DE PALPLANCHES ET DE PALPIEUX DANS UN CONTEXTE GÉOTECHNIQUE FORTEMENT ACCIDENTÉ ONT ÉTÉ NÉCESSAIRES. LE TUNNEL ET LES AMÉNAGEMENTS CONNEXES, DONT LES TRAVAUX ONT COMMENCÉ À L'ÉTÉ 2013, ONT ÉTÉ MIS EN SERVICE À L'ÉTÉ 2016.

LE CONTEXTE DU PROJET

Le projet de réalisation du passage sous fluvial de Kérino a été initié depuis plusieurs années par la ville de Vannes dans le but de fluidifier la circulation routière pour le contournement Sud de la ville, qui empruntait un pont mobile

« pont de Kérino » et créait des conflits d'usage entre le trafic routier et le passage des bateaux de plaisance.

Le pont de Kérino est un pont tournant construit en 1988 pour franchir la rivière. La travée mobile autorise le passage des bateaux de plaisance, en

1 - Vue d'ensemble du chantier - dernière phase.

1 - Overall view of the construction site - final phase.

particulier en période estivale, à savoir 7 500 passages de bateaux pour 1 800 mouvements du pont chaque année, soit 102 minutes d'ouverture du pont chaque jour en moyenne. De fait, ce pont est devenu progressivement un obstacle à la fluidité des



2



3

circulations routières et maritimes, notamment en période estivale.

Les objectifs du projet de franchissement (figure 2) sont :

- De fluidifier le trafic routier dans ses niveaux actuels et futurs ;
- De ne pas entraver la circulation maritime, notamment de plaisance, pour l'accès au port de Vannes ;
- De préserver l'environnement du site de Kérino, véritable porte ouverte sur le Golfe du Morbihan.

2- Vue en plan du pont de Kérino.

3- Vue en plan de l'aménagement global du projet.

4- Vue entrée Ouest.

2- Plan view of Kérino Bridge.

3- Plan view of the overall project layout.

4- View of the western entrance.

Les études alternatives engagées par la ville de Vannes ont porté sur :

- La création d'un ouvrage aérien (pont) dégageant le tirant d'air et la largeur nécessaires à la navigation des bateaux dont les voiliers. Cette solution est apparue très rapidement irréaliste dans l'environnement urbain du site ;
- La réalisation d'un passage inférieur (Passage Sous Fluvial). Cette solution présente l'intérêt de dégager

le gabarit navigable (tirant d'eau et largeur de chenal) et d'être relativement discrète sur le plan paysager. Après plusieurs études de faisabilité et étapes d'ajustement, c'est donc la solution de passage sous fluvial (figure 3) qui a été retenue car :

- Ses caractéristiques techniques assurent à la fois le confort et la sécurité des usagers ;
- Son schéma de fonctionnement lui permet de supprimer toute interaction entre les trafics routier et plaisancier ;
- Elle a un très faible impact sur le foncier ;
- Elle a un faible impact visuel.

LA PROCÉDURE DE DIALOGUE COMPÉTITIF

Par une délibération du conseil municipal, en date du 20 mai 2011, la Ville de Vannes a décidé de lancer une consultation en vue de confier à un partenaire privé une mission globale portant sur tout ou partie du financement, de la conception, de la construction, de l'exploitation, de la maintenance et du gros entretien d'un tunnel sous-fluvial sur une durée globale de 28 ans ainsi que de ses voies d'accès et des travaux de démolition préliminaires (ouvrages et bâtiments).

Le contrat porte également sur les travaux de dragage initial du port de Vannes.

Compte tenu de la complexité du projet, le choix du dialogue compétitif a été retenu avec une procédure en 3 phases successives de remises d'offres et discussions entre octobre 2011 et septembre 2012, suivi d'une mise au point du contrat de partenariat et une notification du marché en novembre 2012. ▷



4

- 5- Profil en long.
- 6- Profil en travers ouvrage.
- 7- Disparité transversale du rocher.
- 8- Paroi d'étanchéité en trémie Ouest.

- 5- Longitudinal profile.
- 6- Cross section of structure.
- 7- Transverse disparity of the rock.
- 8- Cutoff wall in western shaft.

DESCRIPTIF DU PROJET

L'ouvrage de Kérino est composé d'un passage sous-fluvial en cadre fermé en béton armé de 250 m de longueur. Il est réalisé entre deux trémies d'accès à 6% de pente permettant de se raccorder aux voiries existantes. Ces trémies sont bordées, à l'est par des parois verticales, et à l'ouest par des talus plantés et ouverts dégageant un large vue sur l'entrée de l'ouvrage (figure 4).

Le cadre fermé présente également une pente à 6%, permettant de dégager au point bas et sur une largeur de 20 m un tirant d'eau de 2,5 m à mi-marée (figure 5), correspondant au passage du chenal de navigation.

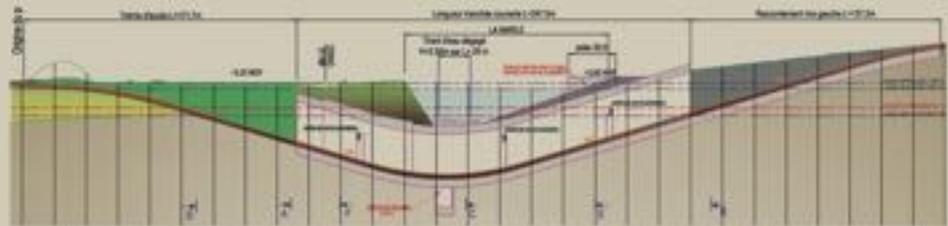
Cet ouvrage accueille les continuités routières, une voie par sens de circulation, ainsi que piétonnes et cyclables, celles-ci étant dissociées de la circulation générale par une cloison séparative non structurante.

Cette disposition constructive permet d'envisager une évolutivité dans la répartition de l'affectation des voies de l'ouvrage.

D'une largeur intérieure de 15,20 m (figure 6), l'ouvrage accueille une voie piétonne de 2,00 m, une piste cyclable bidirectionnelle de 2,50 m, une paroi séparatrice de 0,6 m, deux chaussées de 3,25 m chacune séparées par un terre-plein central de 2,10 m et de bordures chasse-roues de 0,75 m.

Bien que d'une longueur couverte inférieure à 300 m, l'ouvrage accueille néanmoins des équipements permettant d'assurer la sécurité des usagers. Disposant d'une ventilation naturelle suffisante, il n'a pas été nécessaire de mettre en place d'équipement spécifique de ventilation.

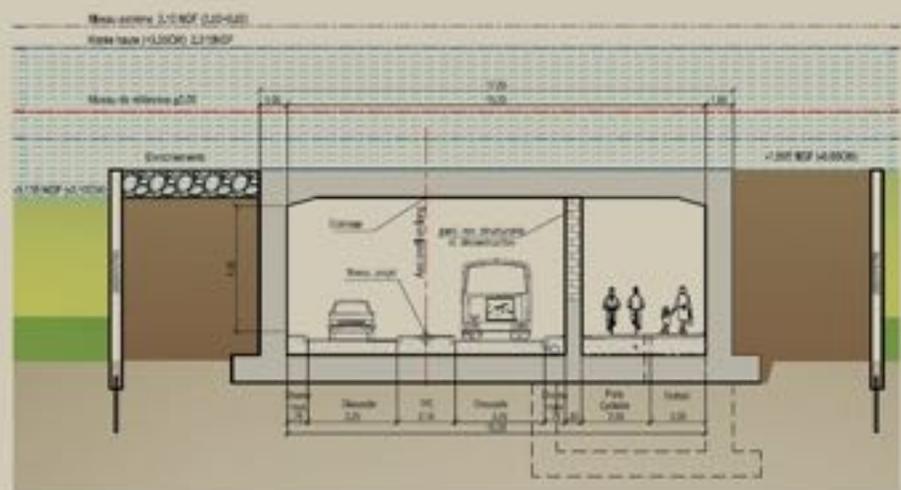
PROFIL EN LONG



5

© GROUPEMENT C/F

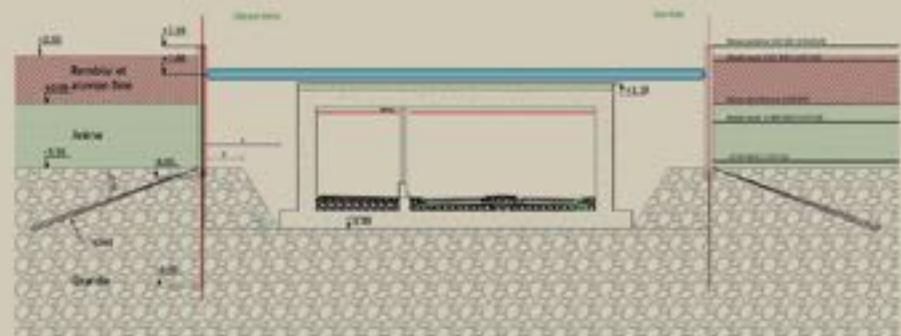
PROFIL EN TRAVERS OUVRAGE



6

© GROUPEMENT C/F

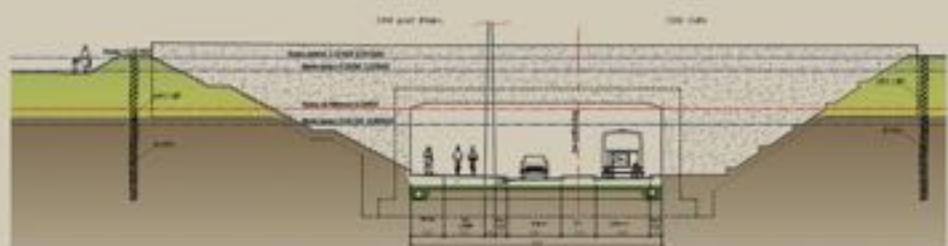
DISPARITÉ TRANSVERSALE DU ROCHER



7

© GROUPEMENT C/F

PAROI D'ÉTANCHÉITÉ EN TRÉMIE OUEST



8

© GROUPEMENT C/F

9- Courbes isophones lors des opérations de battage.

10- Grue à chenille sur barge.

11a- Centrale d'injection sur plateforme auto-élevatrice.

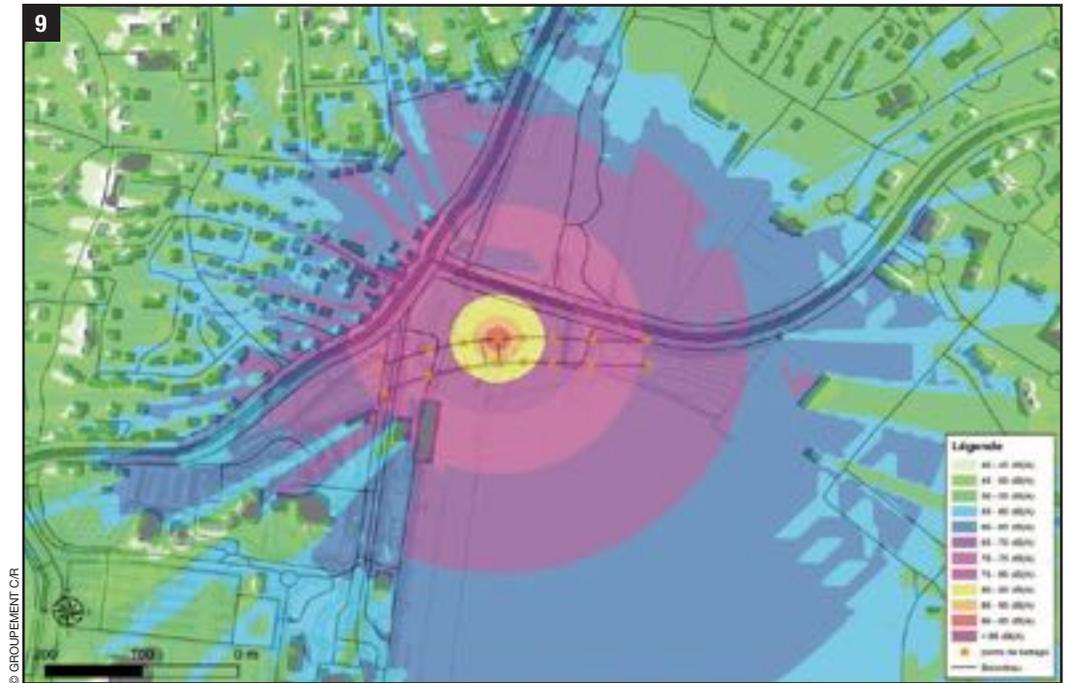
11b- Réalisation des racines.

9- Isophonic curves during pile driving operations.

10- Crawler crane on barge.

11a- Grout mixing plant on self-elevating platform.

11b- Execution of the roots.



Au point bas, une fosse de collecte des eaux de ruissellement de pluie, ainsi que les eaux d'exhaure issues des talus de la trémie Ouest a été réalisée. Cette fosse est équipée de 3 pompes de relevage en fonctionnement continu

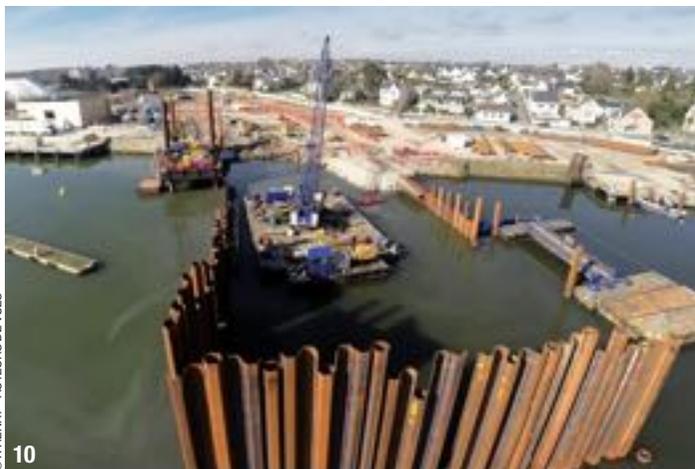
et raccordées au local technique ainsi qu'au centre d'exploitation.

Équipé en vidéosurveillance et détection automatique d'incidents, l'ouvrage fait l'objet d'une surveillance permanente. Pour assurer la sécurité des usagers en

cas d'incendie, des issues de secours sont positionnées le long de l'ouvrage, côté voie routière, permettant l'accès à la voie douce.

Pour compléter ce dispositif, des niches de sécurité sont disposées de part et

d'autre de l'ouvrage, dans les trémies, à une distance minimale de 15 m des têtes de l'ouvrage permettant d'assurer un recul suffisant pour l'intervention des services de secours en sécurité hors fumée. ▷





12a



12b



12c

© GROUPEMENT CR

LES CONTRAINTES TECHNIQUES

GÉOTECHNIQUE / HYDROGÉOLOGIQUE

Le sol du site est composée d'alluvions, de rocher altéré et de rocher sain. Les alluvions présentent une forte perméabilité conduisant à une variation du niveau de la nappe dans le sol suivant, avec un petit décalage, la fluctuation de la marée. Cette perméabilité a nécessité la mise en œuvre d'une paroi étanche

autour de la trémie ouest afin de minimiser les arrivées d'eau dans celle-ci. Les campagnes géotechniques menées par l'entreprise ont montré une grande disparité du toit du rocher, aussi bien dans le sens longitudinal de l'ouvrage que dans le sens transversal, ce qui a nécessité l'adaptation du rideau de palplanches constituant le batardeau par la mise en œuvre de tirants en pieds, de risbermes et de racines en fond de palpieux (figure 7).

RÉSISTANCE AU FEU

L'une des exigences de performance de l'ouvrage consiste à assurer sa tenue au feu sous un niveau de résistance N3, selon la courbe de température HydroCarbure Majorée pendant 120 minutes, puis la Courbe Normalisée pendant 120 minutes, soit selon la courbe HCM 204 et CN 240, selon la circulaire interministérielle n°2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels routiers.

Dans ce cas, l'incendie est caractérisé par une courbe de températures atteignant 1200°C en moins de 10 minutes, et une température maximale de 1300°C environ 20 minutes plus tard.

La circulation dans l'ouvrage est interdite au transport de marchandises dangereuses.

La résistance au feu attendue de la structure de l'ouvrage est sa capacité à conserver son rôle malgré le déve-



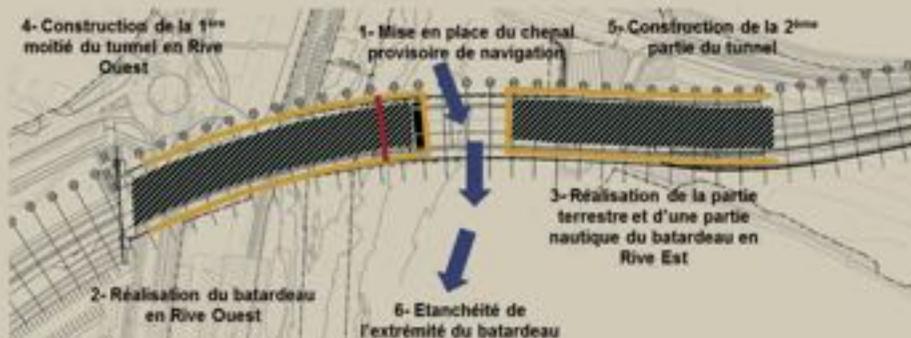
13a

© F. HENRY - AUTEURS DE VUES

12a- Butonnage des palplanches.
12b- Réalisation tirants en pied de palplanche.
12c- Injections en fond de fouille.
13a- Photo première phase.

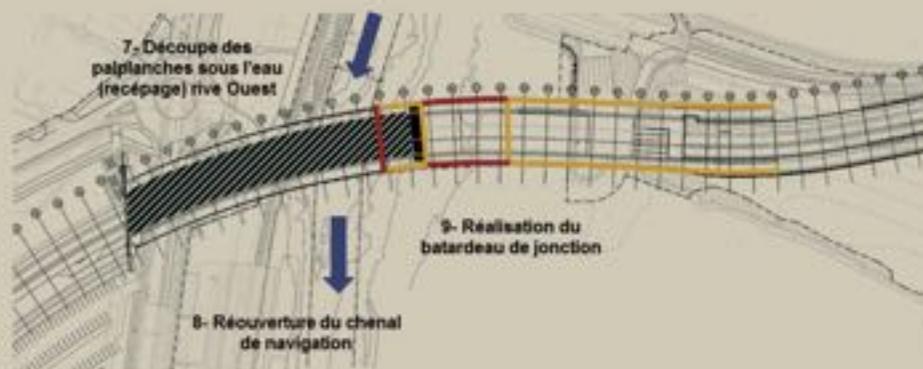
12a- Staying of sheet piling.
12b- Execution of tie anchors at the base of the sheet piling.
12c- Grouting at bottom of excavation.
13a- Photo of phase one.

PREMIÈRE PHASE



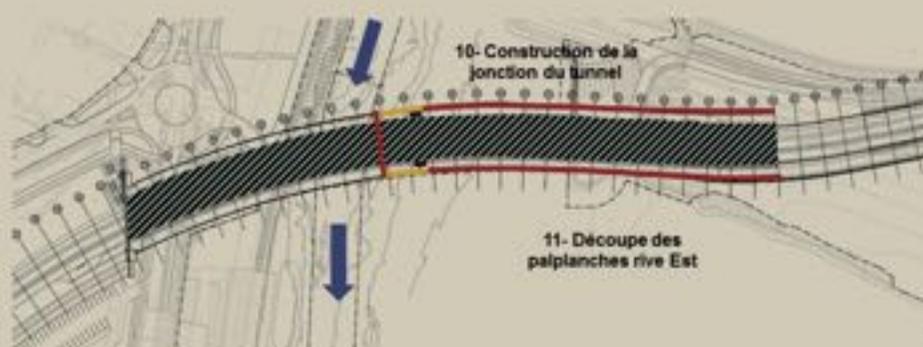
13b

DEUXIÈME PHASE



13c

TROISIÈME PHASE



13d

loppement du feu (capacité portante de la structure, étanchéité de l'ouvrage, isolation pour éviter la transmission de la chaleur notamment dans la voie douce).

La formulation de béton a donc été testée par un essai de convenance, reproduisant l'évolution des contraintes de compression dans la zone de la

13b- Première phase.

13c- Deuxième phase.

13d- Troisième phase.

13b- Phase one.

13c- Phase two.

13d- Phase three.

structure sensible à l'éclatement lors des 240 minutes de montée en température. L'objectif de l'essai est de déterminer l'écaillage au cours de la sollicitation thermique, afin de s'assurer qu'il soit compatible avec les tolérances d'enrobage des armatures pris en compte dans le dimensionnement de la structure.

L'essai a été réalisé dans les locaux du Cerib, dans le laboratoire d'essais au feu Prométhée. Une première série d'essais a été réalisée sur des dalles présentant des dosages en fibres différenciés : 1,2 kg/m³, 1,6 kg/m³ et 2 kg/m³.

Ces premiers essais ont permis de mettre en évidence la malaxabilité et les possibilités de mise en œuvre des bétons selon ces différents dosages, ainsi que leur réaction au feu.

Le dosage final retenu en fibres, testé dans le cadre des essais de convenance sur une dalle de dimensions représentative de la structure de l'ouvrage est de 1,2 kg/m³.

La dalle testée a une surface de 8 m x 1,6 m et une épaisseur de 0,35 m.

LES CONTRAINTES DE RÉALISATION

LIMITATION DES NUISANCES

L'ouvrage est de grande ampleur, dans un contexte urbain consolidé. La réalisation des travaux a fait l'objet de toutes les attentions afin de limiter la gêne des usagers, des riverains, ainsi que de la navigation.

Les travaux de réalisation du batardeau ont été particulièrement impactants en termes de nuisance acoustique liée aux opérations de battage.

Ces travaux ont fait l'objet de mesures acoustiques et de modélisations sur le logiciel CadnA permettant de s'assurer que les niveaux sonores perçus par les usagers étaient acceptables au regard de la réglementation (figure 9).

Cette démarche a permis de mettre en évidence les points critiques des opérations de battage et de prendre les mesures de protection nécessaires.

MAINTIEN DE LA NAVIGATION MARITIME

Situé sur la porte d'accès au port de plaisance de Vannes et à proximité immédiate du port de commerce et de la gare maritime, le chantier du tunnel de Kérino était conditionné par le maintien de la navigation. L'ouvrage constituant une liaison entre la rive Est et la rive Ouest, le maintien de la navigation a imposé un phasage par demi-côtés, déviant le chenal existant vers un chenal provisoire.

Le pont de Kérino a été maintenu en fonctionnement pendant toute la durée du chantier. Un balisage maritime spécifique en phase travaux, respectant les règles de navigation, a été mis en place.

SENSIBILITÉ ENVIRONNEMENTALE DU SITE

Situé dans le parc naturel régional et dans le site d'intérêt communautaire du Golfe du Morbihan Natura 2000, le projet est soumis à enquête publique et à autorisation au titre de la loi sur l'Eau.

À ce titre, des mesures de suivi environnemental ont été mises en place lors des travaux de dragage, de nivellement des fonds et de terrassements.

Un rapport journalier a été établi pour le suivi des matières en suspension et transmis régulièrement à la police de l'eau.

Le chantier a notamment été équipé de bacs de décantation successifs munis de filtres à paille et de géo-grilles recueillant les eaux de pompage dans l'enceinte du batardeau avant rejet dans le milieu naturel.

L'opération a également fait l'objet d'un suivi écologique faune-flore mettant en évidence les éventuelles



14a

© GROUPEMENT CR

incidences de l'opération sur le milieu naturel, tant en phase chantier qu'en fonctionnement.

Ce suivi a permis de montrer que cette opération de grande ampleur a été menée dans le respect des préconisations environnementales

MÉTHODES DE RÉALISATION ET PHASAGE

PAROI D'ÉTANCHÉITÉ ET INJECTIONS

Compte tenu de la présence de l'eau dans le terrain et des possibilités d'inondation en cas de crues de la

14a- Mise en place du ferrailage des voiles.

14b- Ferrailage voiles.

14c- Table coffrante de la traverse.

14d- Ferrailage de la traverse.

14a- Placing reinforcing bars for shear walls.

14b- Reinforcing bars for shear walls.

14c- Flying form for the cross-piece.

14d- Reinforcing bars for the crosspiece.



14b

© GROUPEMENT CR



14c



14d

© GROUPEMENT CR

zone de construction du projet, il a été mis en œuvre une paroi d'étanchéité en périphérie de la totalité de la trémie Ouest. Cette paroi est constituée d'une paroi en coulis de type DiWA-Mix 180 de largeur 60 cm descendue jusqu'au toit du substratum (figure 8).

Le rideau d'étanchéité prévu dans les couches alluvionnaires est complété par des injections dans le substratum fracturé sur une hauteur d'environ 5 m permettant de réduire nettement le débit des éventuelles venues d'eau.

RÉALISATION DES BATARDEAUX

La méthodologie retenue pour la réalisation du passage sous-fluvial au droit de la rivière existante, la Marle, est une construction en 3 phases à l'abri d'un batardeau en palplanches. Une partie du batardeau est réalisée à l'aide de moyens terrestres et l'autre au niveau de la rivière La Marle à l'aide de moyens nautiques, avec une grue à chenille de 90 t embarquée sur une barge (figure 10). Les rideaux de palplanches

battus, chaque caisson en palpieux (tube) est raciné par le scellement d'un pieux de diamètre 193,7 mm, épaisseur 12 à 30 mm dans un forage de diamètre 300 mm. Pour réaliser ce racinage dans la partie nautique du batardeau la foreuse et la centrale d'injection ont été installées sur une plateforme auto-élevatrice, déplacée par un navire de servitude (figures 11a et 11b). Ce racinage est ensuite complété par un blocage en pied des palplanches par tirants et liernes en béton et par un à trois lits de butons sur la hauteur du rideau (figures 12a et 12b).

L'étanchéité des batardeaux perchés sur le toit rocheux est complétée par un rideau d'injections (figure 12c) sur la hauteur du substratum et jusqu'à 6 m sous le fond de fouille.

Les différentes phases constructives de ce batardeau sont les suivantes :

- 1- Mise en place du chenal provisoire de navigation (figures 13a et 13b) ;
- 2- Réalisation du batardeau en rive Ouest ;

3- Réalisation de la partie terrestre et d'une partie nautique du batardeau en rive Est ;

4- Construction de la 1^{re} moitié du tunnel en rive Ouest ;

5- Construction de la 2^e moitié du tunnel ;

6- Étanchéité de l'extrémité du batardeau ;

7- Découpe des palplanches sous l'eau (recépage) rive Ouest ;

8- Réouverture du chenal de navigation ;

9- Réalisation du batardeau de jonction (figure 13c) ;

10- Construction de la jonction du tunnel ;

11- Découpe des palplanches rive Est (figures 13c et 13d).

RÉALISATION DU GÉNIE CIVIL

Au regard des contraintes imposées par les lits de butons du batardeau et par le planning tendu restant pour la réalisation du génie civil, des outils spécifiques ont été développés pour

la réalisation des voiles et des dalles du cadre.

Les objectifs principaux recherchés étaient de minimiser les manutentions à travers les butons et de permettre la réalisation des ferrillages des plots en amont des rotations de coffrage et les bétonnages.

Ainsi, les ferrillages des voiles ont été mis en place à l'avancement avec des systèmes de basculeurs (figure 14a) ne nécessitant aucune manutention à la grue et permettant une libre rotation des portiques de coffrages de voiles eux-mêmes autonomes dans leur déplacement (figure 14b).

Selon les mêmes concepts, un système hybride de tables de ferrillage et de coffrage avec une clef centrale unique a permis la réalisation des ferrillages de dalle préalablement au cycle de bétonnage des plots de traverses (figures 14c et 14d).

Les 250 m du tunnel ont ainsi pu être réalisés dans un délai cumulé de 7 mois. □

INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Vannes

PROJET DE PARTENARIAT PUBLIC PRIVÉ : Vinci Construction France et sa filiale de développement immobilier Adim Ouest, intégrant un contrat de Conception Réalisation, dont Gtm Ouest (filiale de Vinci Construction France) est mandataire :

- **Concepteurs :** Ingerop Conseil et Ingénierie (mandataire du sous groupement de conception), Anteagroup (pour les compétences dragage) et Enet Dolowy (pour les compétences architecturales et de paysage)
- **Réalisateurs :** Gtm Ouest (mandataire du sous groupement de réalisation) et Cofely Inéo (équipements)

CONTRÔLE TECHNIQUE ET COORDONNATEUR SÉCURITÉ : Socotec

CONTRAT EXPLOITATION, ENTRETIEN ET MAINTENANCE : Gtm Ouest (mandataire) et Cofely Inéo

PRINCIPALES DIMENSIONS ET QUANTITÉS

DIMENSIONS DE L'OUVRAGE :

- Longueur totale du passage (trémies + tunnel) : 580 m
- Longueur du tunnel : 250 m
- Largeur utile : 15,20 m
- Surface tablier : 4 300 m²

MATÉRIAUX DE L'OUVRAGE :

- Terrassement : 82 000 m³
- Béton : 15 000 m³
- Armatures : 2 200 t
- Palplanches mises bout à bout : 7,5 km
- Palplanches : 1 000 t
- Butons et liernes : 600 t

DURÉE DES TRAVAUX : 36 mois, achèvement des travaux en juin 2016

ABSTRACT

KÉRINO RIVER UNDERPASS

SAÏD EL BARKAOUÏ, INGÉROP - STÉPHANE PLAGNOL, GTM - FRÉDÉRIQUE BAUDOUIN, INGÉROP

The Kérino river underpass is an engineering structure located in a sensitive urban environment, which therefore required high-tech work methods. 250 metres long, in an enclosed frame, including access shafts at either end, this structure accepts pedestrian, bicycle and road traffic without disturbing maritime traffic for access to the marina. It complies with the safety and fire resistance rules for an underground passageway. The work was performed in an undulating geotechnical environment and, for execution of the civil works on dry land, a complex cofferdam had to be set up, consisting of box piles and sheet piling, held in position by struts on various levels. □

PASO SUBFLUVIAL DE KÉRINO

SAÏD EL BARKAOUÏ, INGÉROP - STÉPHANE PLAGNOL, GTM - FRÉDÉRIQUE BAUDOUIN, INGÉROP

El paso subfluvial de Kérino es una obra cuya localización en un contexto urbano y medioambientalmente sensible ha exigido métodos de realización de alta tecnología. Con una longitud de 250 m en marco cerrado y huecos de acceso a cada lado, esta obra permite la circulación de peatones, bicicletas y tráfico viario sin perturbar el tráfico marítimo de acceso al puerto deportivo. Respeto las normas de seguridad y de resistencia al fuego de un subterráneo. Su realización en un contexto geotécnico accidentado ha impuesto, para la realización de la ingeniería civil en seco, la construcción de una ataguía compleja, formada por pilotes y tablestacas, y sujeta por diferentes niveles de codales. □



1a

© FAZEL-BEC

STABILITÉ À L'ÉROSION INTERNE D'UN SOL GROSSIER TRAITÉ À LA CHAUX

AUTEUR : RADJA ELANDALOUSSI, INGÉNIEURE, DOCTEURE, CHARGÉE DE RECHERCHE, ÉCOLE DES PONTS PARISTECH, UR NAVIER, ÉQUIPE GÉOTECHNIQUE

LE TRAITEMENT À LA CHAUX EST UNE TECHNIQUE BIEN ADAPTÉE AUX SOLS FINS ET PERMET LEUR RÉEMPLOI DANS LA CONSTRUCTION D'OUVRAGES EN TERRE. CETTE TECHNIQUE SERAIT-ELLE EFFICACE SI ELLE ÉTAIT APPLIQUÉE À DES SOLS GROSSIERS CONTENANT UN FAIBLE POURCENTAGE D'ARGILE, A PRIORI INSTABLES VIS-À-VIS DE L'ÉROSION INTERNE ? C'EST POUR TENTER DE RÉPONDRE À CETTE QUESTION QUE CETTE RECHERCHE EXPÉRIMENTALE A ÉTÉ MENÉE SUR LA BASE D'ESSAIS D'ÉROSION INTERNE, D'ESSAIS DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION SIMPLE, ET D'OBSERVATIONS MICROSTRUCTURALES.

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Les sols employés pour la construction d'ouvrages hydrauliques en terre peuvent être constitués de matériaux perméables tels que les sables ou les graves ou de matériaux peu perméables tels que les argiles ou les limons.

En fonction de la disponibilité des matériaux à proximité du site, il est alors possible d'opter pour différents types d'ouvrages (ouvrages homogènes, à noyau ou zonés). Dans tous les cas, le coût d'un ouvrage est d'autant moins élevé que les sols utilisés pour sa construction sont issus de zones proches.

Mais certains matériaux ne conviennent pas pour la construction de ces ouvrages car ils sont instables vis-à-vis de l'érosion interne. Lorsque ces matériaux sont disponibles à proximité du site, une solution potentielle consiste à modifier leurs caractéristiques afin de rendre possible leur emploi. L'objectif de

cette étude de recherche expérimentale était de vérifier si la technique de traitement à la chaux (figures 1a et 1b), utilisée couramment pour les sols fins dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, pouvait être appliquée à

un sol grossier pour réduire sa susceptibilité à l'érosion interne. Une analyse multicritère basée sur la réalisation de plusieurs types d'essais (essais d'érosion, essais mécaniques et de microstructure) est proposée.

MATÉRIAUX

Pour assurer une bonne répétabilité des essais de l'étude, le sol modèle utilisé, représentatif du sol de référence, a été reconstitué en laboratoire à partir de matériaux naturels. Le sol de référence est une grave argileuse originaire de Saint-Pierre-de-Boëuf (région lyonnaise). Ce sol a été déclaré impropre à la construction d'ouvrages hydrauliques à cause de sa susceptibilité à l'érosion interne par suffusion. Son instabilité vis-à-vis de la suffusion a été confirmée par l'application des critères granulométriques : critère d'Istomina, de Terzaghi, de Kenney et Lau et de Burenkova. Ce sol couvre une large gamme granulométrique, caractérisée par un pourcentage de fines (< 80 µm) d'environ 20 % et une discontinuité entre 2 et 4 mm. Ce sol est qualifié hydrauliquement de grossier car contenant une proportion importante de gros éléments. La reconstitution de ce sol au labora-

LE PARTENARIAT DE RECHERCHE

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre la Fédération Nationale des Travaux Publics (Fntp) et l'École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie (Estp Paris). La collaboration a porté sur le co-financement de la thèse de Radja Elandaloussi, dirigée par Jean-Claude Dupla (Enpc, École des ponts Paris-Tech) et co-dirigée par Abdelkrim Bennabi (Estp). Le comité de suivi de la thèse comprenait Ahmed Benamar (Lomc-Univ. Le Havre), Jean Canou (Enpc), Philippe Gotteland (Fntp), Maurice Douillat (Razel Bec) et Patrice Chardard (Eiffage) membres du comité sectoriel Sols de la Commission Technique Innovation de la Fntp. Les résultats présentés sont issus de cette thèse soutenue le 9 décembre 2015.

Lien pour téléchargement de la thèse : <http://www.theses.fr/196722330>



1b

© EIFFAGE

toire a été réalisée en utilisant de la kaolinite Proclay BR 500 et du sable broyé pour la partie fine, du sable d'Hostun pour la fraction sableuse et des gravillons roulés de la Seine-et-Marne pour la partie graveleuse.

De la chaux vive, commercialisée sous le nom de chaux Proviacal ST par Lhoist, a été utilisée pour le traitement avec deux dosages (1% et 3%) et différents temps de cure (1, 7, 28, 90 jours).

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX POUR ESSAIS D'ÉROSION

Afin de tester la sensibilité de ce sol vis-à-vis de l'érosion interne, deux essais ont été utilisés. Ces essais représentent une simulation en laboratoire de ce que peut subir ce matériau utilisé en corps de digue. Le premier est l'essai d'érosion par dispersion (voir encadré : Essai d'érosion par dispersion) qui rend compte du comportement du sol lorsqu'il est immergé dans de l'eau stagnante. Le second est l'essai d'érosion par suffusion destiné à l'étude du comportement du sol soumis à des charges hydrauliques (voir encadré : Essai d'érosion par suffusion).

1- Traitement des sols en place (1a-Razel-Bec, 1b-Eiffage).

2- Dispositif d'essai, schéma général et vue des deux bacs.

1- In-situ soil treatment (1a-Razel-Bec, 1b-Eiffage).

2- Test system, general diagram and view of the two containers.

ÉVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA DISPERSION

Les résultats de l'essai de dispersion (figure 4) montrent que pour le sol non traité, l'éprouvette se désagrège entièrement au bout de dix minutes laissant apparaître un halo de particules en suspension autour d'elle.

Les éprouvettes traitées à 1% et 3% de chaux présentent une stabilité globale sans effondrement ou désagrégation importante.

Ces résultats montrent qu'en présence d'eau, ce sol non traité perd toute cohésion et se désagrège entièrement, ce qui rend le traitement indispensable.

ÉVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À L'ÉROSION INTERNE

Deux phénomènes différents sont observés : une érosion par suffusion suivie d'un débouillage dans le cas du sol non traité et une fracturation hydraulique dans le cas du sol traité. La figure 5 présente l'évolution temporelle des pressions sur les trois capteurs C1, C2 et C3 disposés respectivement en haut, au milieu et en bas de l'échantillon de sol.

La masse volumique, la teneur en eau initiale et la hauteur de l'échantillon sont précisées, ainsi que les valeurs du gradient hydraulique (i ou l) appliquées, notamment celles qui correspondent aux phénomènes de suffusion, de débouillage, de fracturation et de destruction du sol.

Les gradients hydrauliques de valeurs 2 à 6 sont appliqués pendant 60 minutes chacun depuis le début de l'essai.

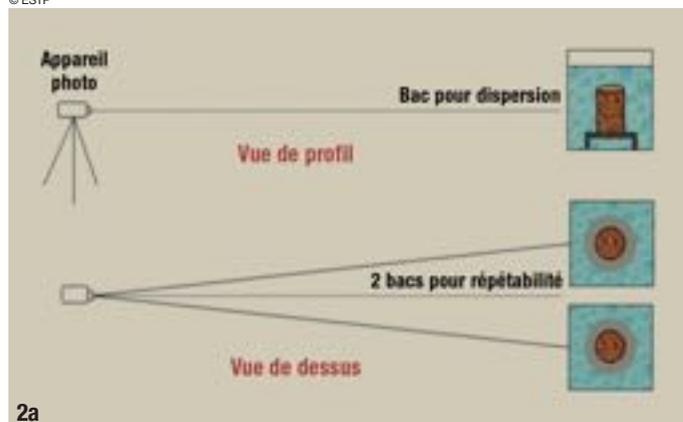
Dans le cas du sol non traité (figure 5a), 5 minutes après l'application du gradient 3, une chute nette de pression est constatée sur les trois capteurs, traduisant le début de la suffusion, suivie d'un débouillage localisé surtout en partie basse de l'échantillon (position du capteur C3). La figure 7 montre l'état de l'éprouvette à la fin de l'essai sur différentes faces.

Dans le cas du sol traité (figure 5b), une baisse de pression est constatée pour le capteur C1 lors de l'application du gradient 5. Cette baisse de pression peut être due à une fracturation naissante même si les fissures ne sont pas visibles à l'œil nu (figure 8a).

Au palier 6, les fissures, encore petites, deviennent visibles (figure 8b) et grossissent jusqu'à entraîner le soulèvement brutal d'une partie de l'échantillon, créant ainsi une poche d'eau (figure 8c).

La figure 6a présente l'évolution de la concentration en fines de l'effluent récupéré en aval de l'échantillon, en fonction du temps.

© ESTP



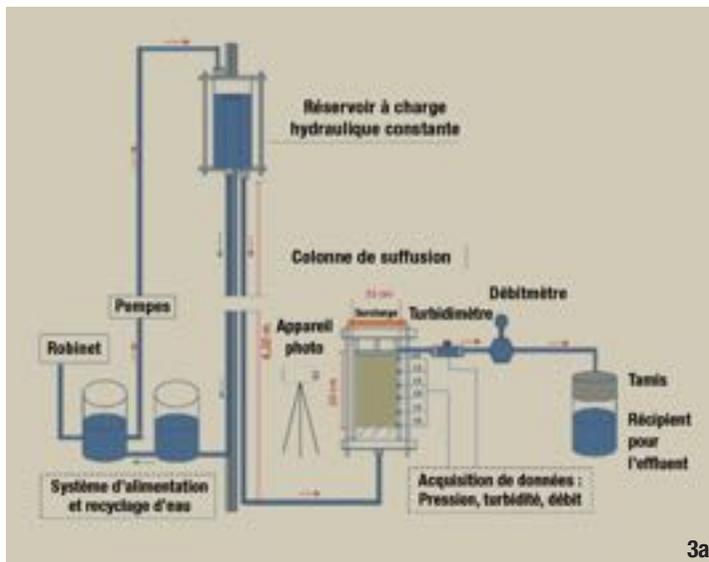
2a



2b

ESSAI D'ÉROSION PAR DISPERSION

Cet essai consiste à immerger une éprouvette de sol, de densité et de dimensions connues (100 mm de diamètre et 200 mm de hauteur), dans un bac rempli d'eau et de suivre son évolution morphologique au cours du temps (figure 2) en effectuant un enregistrement d'images pendant la durée de l'essai. Il est basé sur des observations visuelles, les résultats sont seulement d'ordre qualitatif.



On constate un premier pic de concentration 5 minutes après l'application du gradient $i = 3$, ce qui confirme l'hypothèse de départ de particules avancée précédemment lors de la chute des pressions. Un autre pic, constaté 30 minutes après le début de l'application du gradient $i = 5$, peut être expliqué par l'élargissement de la zone de suffusion, entraînant un départ de particules après un colmatage. Sur la figure 6b concernant le sol traité à 1% de chaux et après 24 heures de cure, nous enregistrons un pic de turbidité juste au moment de lancer

le chargement au gradient 2. Ce pic est attribué à la récupération de l'eau chargée en chaux ayant stagné à l'aval de l'échantillon après l'étape de saturation. Cela est confirmé par les analyses à la diffraction et à la fluorescence aux rayons X réalisées sur une quantité d'effluent récupérée à la fin du palier 2. Pour les paliers de chargement suivants, on retrouve une turbidité quasi-constante autour d'une concentration 1,5 g/l. D'après les observations visuelles effectuées et leur confirmation par les analyses de diffractions aux rayons X, il n'y a pas eu de transport

ESSAI D'ÉROSION PAR **SUFFUSION**

Le dispositif expérimental a été développé dans le cadre du travail de thèse. Il consiste à établir un écoulement d'eau à travers un échantillon de sol mis en place dans une colonne cylindrique. Le dispositif permet de suivre l'évolution temporelle de la pression interstitielle, de la turbidité, du débit d'eau sortant ainsi que de la masse des particules érodées (figure 3).

La réalisation de l'essai de suffusion comporte quatre étapes principales : la préparation, la mise en place et le compactage du sol dans la colonne à 95% de l'optimum Proctor, la saturation de l'échantillon et le chargement hydraulique par l'établissement d'un écoulement ascendant en appliquant un accroissement de gradient hydraulique.

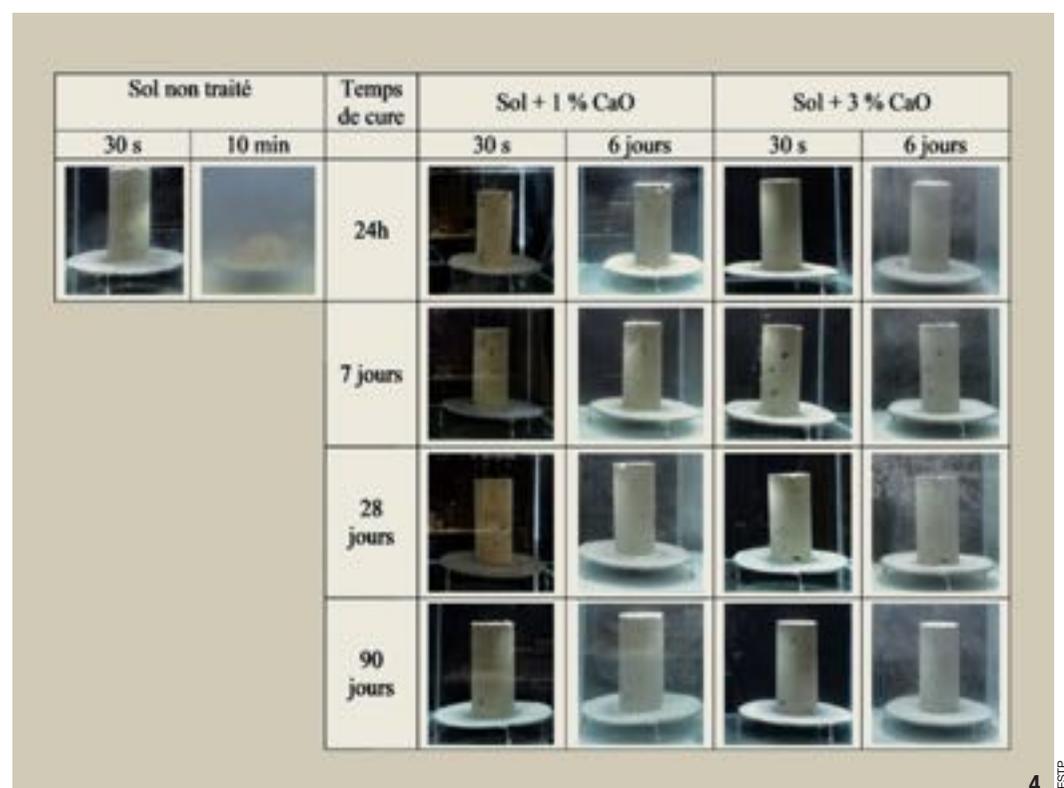
À noter que l'écoulement descendant a été étudié mais n'a pas été concluant.

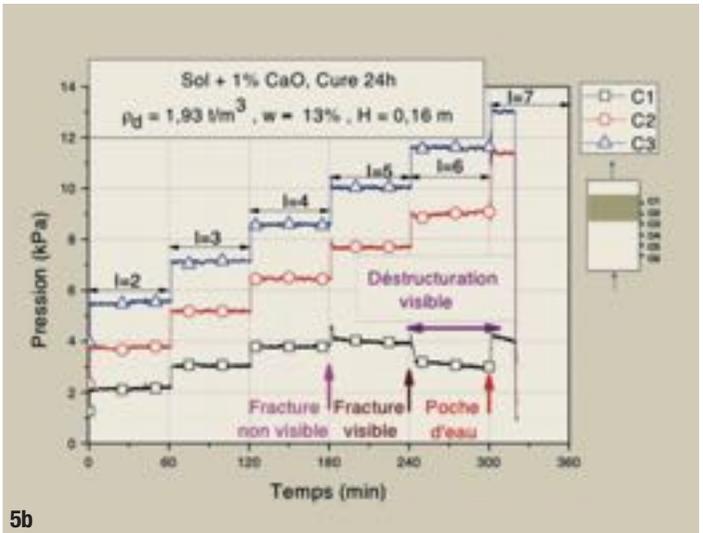
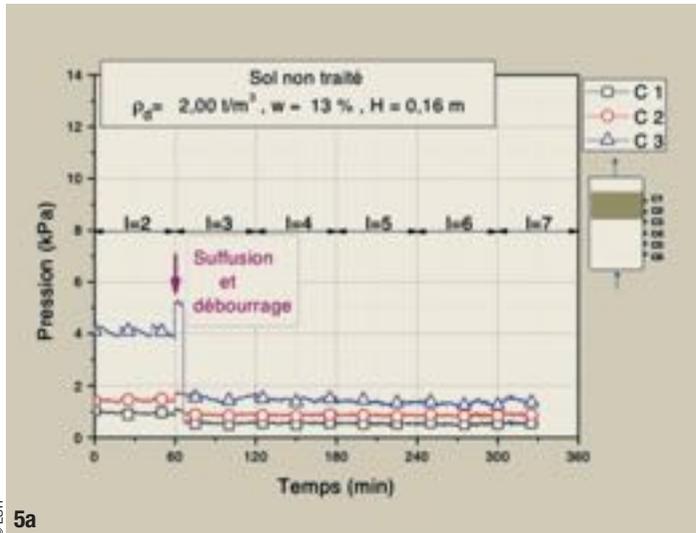
3- Dispositif d'essai, schéma général et vue d'ensemble.

4- Évolution de la dispersion pour des éprouvettes non traitées, traitées à 1 et 3% de chaux et à différents temps de cure (1, 7, 28, 90 jours).

3- Test system, general diagram and overall view.

4- Change in dispersion for untreated test specimens and for specimens treated with 1% and 3% of lime and at various curing times (1, 7, 28 and 90 days).





de particules, mais uniquement un lessivage de la chaux. La fracturation évoquée dans cette étude peut être fatale pour la stabilité d'une digue, mais il faut noter que le gradient hydraulique engendrant la fracturation est élevé. En réalité, il est improbable qu'un gra-

dient aussi élevé ($i > 6$) puisse être appliqué à un ouvrage hydraulique. Un comportement similaire a été observé sur les éprouvettes traitées à 3% de chaux. Le temps de cure ne semble pas apporter une résistance supplémentaire à la fracturation, en

d'autres termes les réactions chimiques développées sur le long terme ne semblent pas jouer un rôle dans le gain de résistance à la fracturation (figure 9). A priori seules les réactions à court terme comptent pour l'apport de la résistance à l'érosion.

ÉTUDE MICROSTRUCTURALE

D'après les résultats obtenus, le comportement hydraulique de ce type de sol semble être gouverné par la présence des particules fines, malgré leur faible proportion, et non pas par les gros éléments. Ce comportement semble aussi dépendre des réactions chimiques à court terme uniquement. L'analyse microstructurale de vérification de ces hypothèses a consisté en des essais de microscopie (MEB), de granulométrie laser et de porosimètre au mercure (PIM)

Les résultats obtenus au MEB montrent un changement de structure considérable entre un sol non traité, un sol traité à 1% de chaux et un sol traité à 3% de chaux (figure 10) : une structure assez lisse constituée de grains anguleux (spécificité des sables d'Hos-tun) recouverts d'un film de particules argileuses reliant les grains de sable entre eux (figure 10a), la présence d'agglomérats non homogènes, leurs diamètres varient de 300 à 600 μm engendrant ainsi l'augmentation du volume poreux (figure 10b), une structure assez similaire sauf que les agglomérats semblent être plus compacts (figure 10c).

Afin de quantifier cette augmentation du volume poreux, une série d'essais sur PIM a été réalisée. Il a été constaté que le volume des macropores (pores dont le diamètre est supérieur à 0,4 μm) double, il passe de $e = 0,32$ pour le sol non traité à $e = 0,65$ pour le sol traité à 1% de CaO pour 24h de cure. Ceci est le résultat de l'agglomération et la floculation des particules qui créent entre elles un vide inter-particulaire.

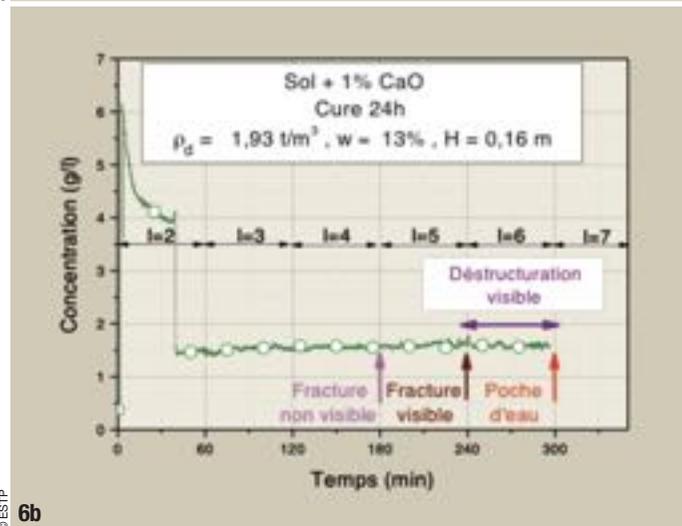
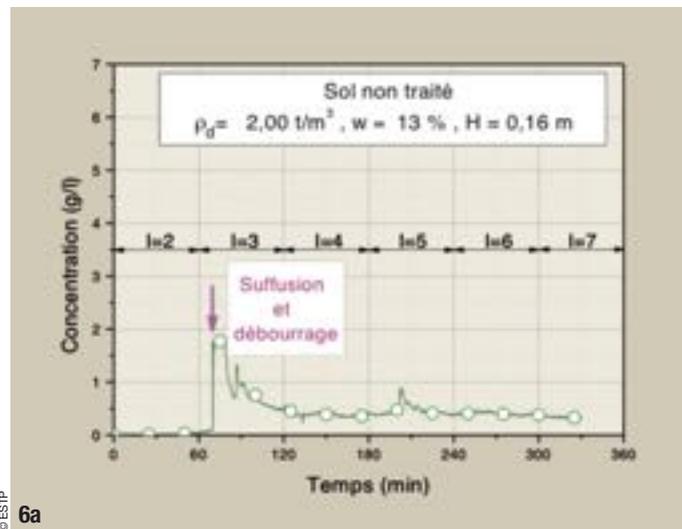
Afin de vérifier cette agglomération, une granulométrie laser a été réalisée. ▷

5- Évolution des pressions le long de l'éprouvette pendant l'essai de suffusion. (5a) cas du sol non traité - (5b) cas du sol traité, 1% de chaux et 24 h de cure.

6- Évolution de la concentration pendant l'essai de suffusion. (6a) cas du sol non traité - (6b) cas du sol traité, 1% de chaux et 24 h de cure.

5- Change in pressures along the test specimen during the suffusion test. (5a) Case of untreated soil - (5b) Case of treated soil, 1% lime and 24h curing.

6- Change in concentration during the suffusion test. (6a) Case of untreated soil - (6b) Case of treated soil, 1% lime and 24h curing.



Elle permet d'obtenir une analyse granulométrique sur la partie fine dont le diamètre est inférieur à 64 µm. Après 24 heures de cure, on constate que le diamètre moyen D50 passe de 150 µm pour le sol non traité à 200 µm pour le sol traité à 1% et 3% de chaux (figure 11a).

La distribution de la taille des grains (figure 11b) montre que le traitement engendre, à court terme, la disparition d'une famille de grains centrée autour de 20 µm de diamètre. Parallèlement, pour le sol traité à 1% de chaux, on constate une augmentation de la quantité de grains centrés autour de 350 µm et pour le sol traité à 3% de chaux un élargissement de pics centré autour de 200 µm de diamètre.

L'étude microstructurale confirme une agglomération et floculation, ainsi qu'une augmentation du volume poreux lors des premiers temps de cure.

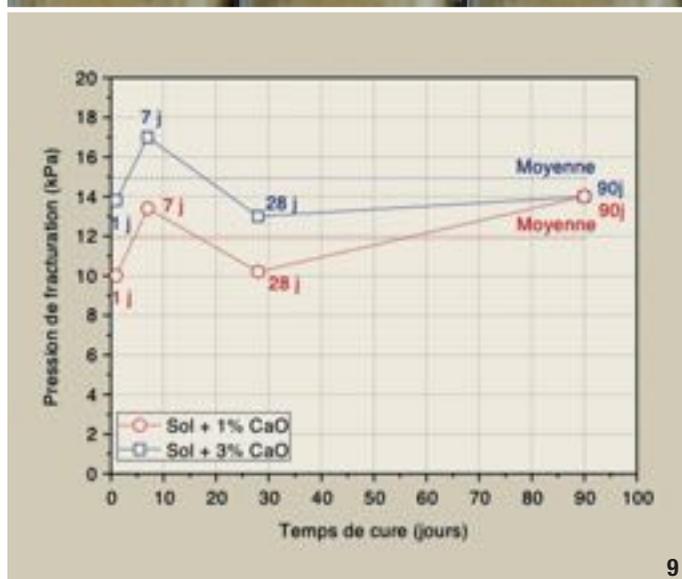
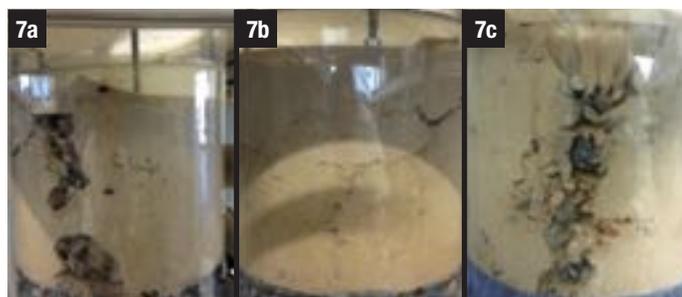
ÉVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION SIMPLE

L'objectif de pouvoir trouver une loi de corrélation entre le comportement mécanique et le comportement à l'érosion pourrait permettre de prédire le comportement à l'érosion de ce type de sol connaissant son comportement mécanique.

Pour cet effet, deux groupes d'essais ont été réalisés, le premier consistait à tester les éprouvettes à l'état hydrique de préparation et le second consistait à tester les éprouvettes après les avoir immergées dans de l'eau pendant six jours au temps de cure souhaité.

Les six jours correspondent à la durée au bout de laquelle les poches d'eau apparaissent dans le cas de l'essai d'érosion par suffusion.

La figure 12 montre l'évolution de la résistance à la compression simple des éprouvettes avant et après immersion dans l'eau en fonction du dosage et du temps de cure. Les résistances mesurées sur les éprouvettes traitées à 1%



7- Images de l'échantillon prises à la fin de l'essai (i = 6) - cas du sol non traité. (7a) face avant - (7b) face latérale gauche - (7c) face arrière.

8- Évolution de la fracturation au cours du chargement hydraulique. (8a) i = 3 - (8b) i = 5 - (8c) i = 7.

9- Évolution de la pression de fracturation en fonction du temps de cure.

10- Observations au microscope électronique à balayage (MEB). (10a) non traité - (10b) traité à 1% de chaux - (10c) traité à 3% de chaux.

7- Pictures of the test specimens taken at the end of the test (i = 6) - Case of untreated soil. (7a) Front side - (7b) Left-hand side - (7c) Rear side.

8- Change in fracturing during hydraulic loading. (8a) i = 3 - (8b) i = 5 - (8c) i = 7.

9- Change in fracturing pressure versus curing time.

10- Observations by scanning electron microscope (SEM). (10a) Untreated - (10b) Treated with 1% lime - (10c) Treated with 3% lime.

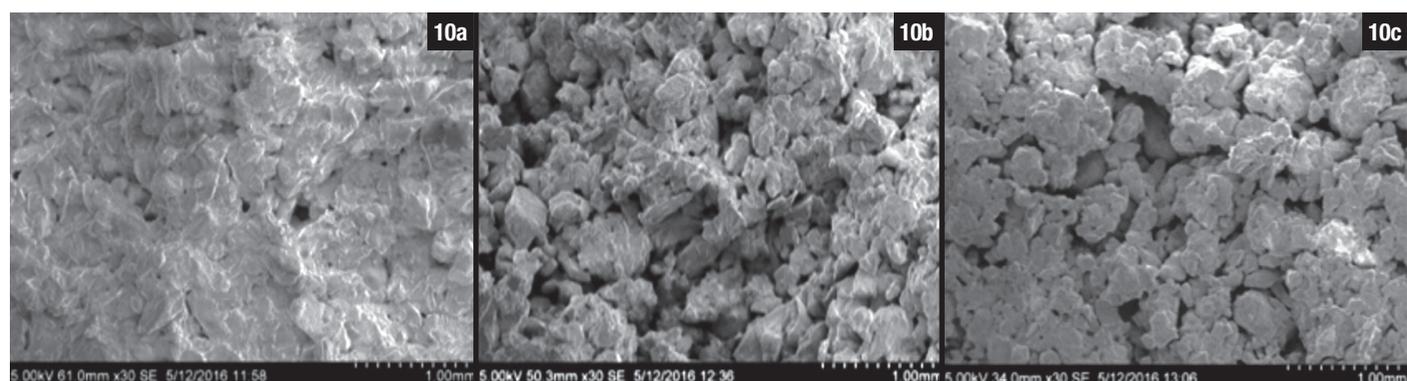
et 3% de chaux, après immersion pendant 1 et 7 jours, sont nettement plus faibles que celles des éprouvettes non immergées. Par contre le sol non traité après immersion ne présente aucune résistance.

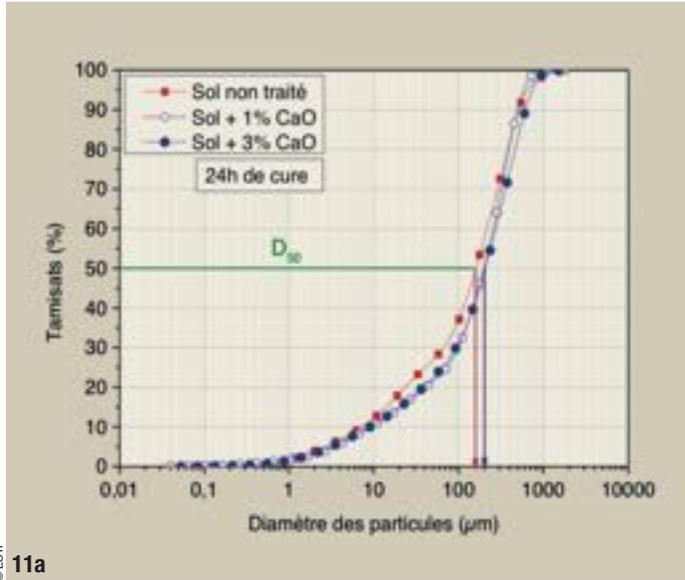
Une chute importante de la résistance après immersion est constatée à court terme (1 et 7 jours de cure) pour les deux dosages, cette chute peut être

attribuée à l'augmentation des macropores (> 0,4 µm) en raison de la floculation des particules, entraînant ainsi une absorption d'eau plus importante dans l'échantillon. Au-delà de 28 jours, la résistance du sol traité après immersion continue son évolution. Ceci peut être expliqué par la diminution de la porosité suite aux réactions pouzzolaniques. Cependant après immersion,

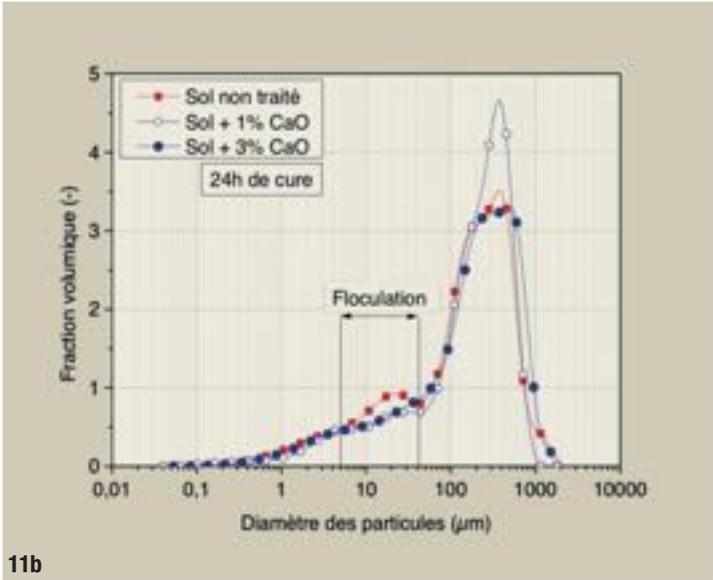
l'effet du dosage a disparu, les courbes de deux dosages sont juxtaposées mais continuent leur évolution en fonction du temps de cure.

Une tentative de corrélation a été menée. Malheureusement l'évolution de la pression de fracturation en fonction de la résistance à la compression simple après immersion dans l'eau n'a pas été concluante car l'augmentation

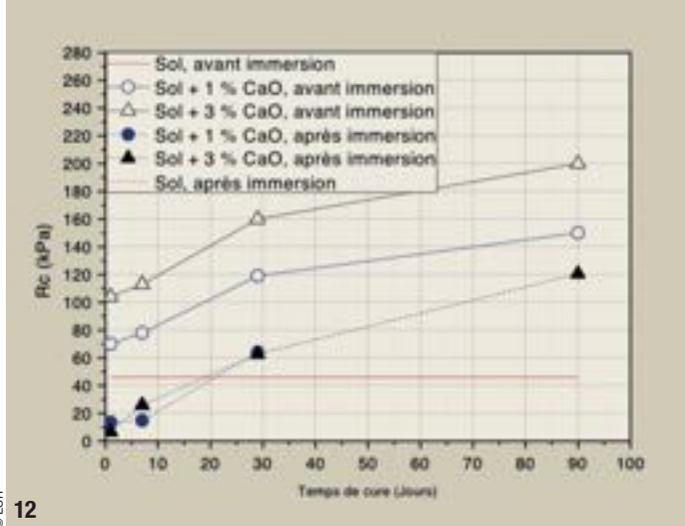




11a



11b



12

du dosage et du temps de cure ne semble pas affecter l'amélioration de la résistance à la fracturation contrairement au comportement à la résistance mécanique.

CONCLUSIONS

La pertinence d'utiliser la technique de traitement à la chaux pour un sol gros-

sier contenant un faible pourcentage de fines, impropre à la construction d'ouvrages hydrauliques car il ne satisfait pas aux critères de stabilité à l'érosion interne par suffusion, est investiguée. Les premiers résultats de cette recherche expérimentale montrent qu'un faible dosage en chaux et un court temps de cure semblent suffi-

11- Granulométrie et distribution de la taille des grains inférieurs à 2 mm.

12- Évolution de la résistance à la compression simple des échantillons immergés et non immergés en fonction du temps de cure.

11- Particle size analysis and distribution for grain size less than 2 mm.

12- Change in the unconfined compressive strength of immersed and non-immersed test specimens versus curing time.

sants pour stabiliser le déplacement des particules fines à travers la matrice grossière.

Ces particules fines s'agglomèrent entre elles suite aux premières réactions entre le sol, la chaux et l'eau.

Les résultats microstructuraux confirment l'hypothèse d'agglomération et de floculation produites par le processus d'échange cationique aux premiers temps de cure.

Les résultats d'essais mécaniques après immersion dans l'eau montrent une diminution importante de la résistance à la compression simple.

L'effet du dosage en chaux disparaît mais les réactions pouzzolaniques ne semblent pas être affectées par l'immersion dans l'eau.

La corrélation, entre le comportement hydraulique et le comportement mécanique pour ce type de sol n'a pas donné de résultats concluants.

Une étude complémentaire portant sur une corrélation possible entre la pression de fracturation et la cohésion drainée est en cours de réalisation. □

ABSTRACT

INTERNAL EROSION STABILITY OF A COARSE LIME-TREATED SOIL

RADJA ELANDALOUSSI, ÉCOLE DES PONTS PARISTECH

The cost of an earth structure is reduced when the soils used for its construction come from areas close to the construction site. When these soils are unsuitable for use, it may be a good idea to try to modify their properties by treatment. This research concerns the improvements made to the behaviour of a coarse soil with regard to internal erosion. This soil, consisting of 20% of fine elements, including 8% of clay, was treated with lime and then subjected to a series of tests and microstructural observations. Internal erosion is prevented for the treated soil, whereas it occurs above a hydraulic gradient of 3 for the untreated soil. □

ESTABILIDAD FRENTE A LA EROSIÓN INTERNA DE UN SUELO BASTO TRATADO CON CAL

RADJA ELANDALOUSSI, ÉCOLE DES PONTS PARISTECH

El coste de las construcciones en tierra es menos elevado si los suelos utilizados para su construcción proceden de zonas cercanas a la obra. Cuando el uso de estos suelos no es óptimo, puede ser conveniente modificar sus características mediante un tratamiento. La presente investigación se basa en las mejoras aportadas al comportamiento de un suelo basto frente a la erosión interna. Este suelo, formado por un 20% de elementos finos, de los cuales un 8% de arcilla, ha sido tratado con cal y seguidamente se ha sometido a un conjunto de ensayos y observaciones microestructurales. La erosión interna se evita para el suelo tratado si interviene a partir de un gradiente hidráulico de 3 para el suelo no tratado. □



© GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE (GPMLM)

EXTENSION DU TERMINAL À CONTENEURS DES GRIVES - MARTINIQUE

AUTEURS : PATRICK GARCIN, DIRECTEUR DE PROJET, ARTELIA EAU ET ENVIRONNEMENT - BENOIT SEIDLITZ, CHEF DU SERVICE INGÉNIERIE ET PROJET, GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE - GÉRALDINE CASSE, CHEF DE PROJET GÉNIE CIVIL, ARTELIA EAU ET ENVIRONNEMENT

LE GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE, ÉTABLISSEMENT PUBLIC FRANÇAIS, DÉPLOIE UN PLAN D'ACTION AMBITIEUX VISANT AU DÉVELOPPEMENT DE SON TERMINAL À CONTENEURS. IL EN A CONFIE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE À LA SOCIÉTÉ ARTELIA AVEC UN OBJECTIF D'INVESTISSEMENTS CIBLÉS, GARANTS DE L'ENVIRONNEMENT DANS UNE ZONE À FORTS ENJEUX ÉCOLOGIQUES. L'OUVERTURE DU MARCHÉ CARIBÉEN (TROISIÈME JEU D'ÉCLUSES DU CANAL DE PANAMA), VISE À RÉPONDRE AUX ÉVOLUTIONS RAPIDES DU TRAFIC MARITIME (MASSIFICATION DES ÉCHANGES).

INTRODUCTION

Le port de Fort-de-France est aujourd'hui un outil logistique majeur au service de l'économie martiniquaise : il est le principal point de débarquement/embarquement du trafic maritime conteneurisé de l'île et l'unique zone de transbordement.

Le terminal à conteneurs de la Pointe des Grives a été mis en service en 2003 (figures 1 et 2).

Il comprend un terre-plein de stockage de conteneurs de 20 ha, 2 postes à quai pouvant accueillir des navires PCR (navire CMA-CGM de la ligne Nord Europe - Antilles) jusqu'à 200 m de long et 2 400 Équivalents Vingt Pieds (EVP) (figure 3) :

- Un quai principal de 460 m de long, de tirant d'eau 12,5 m ;
- Un quai retour de 180 m de long de tirant d'eau 8 m.

1- Vue aérienne d'ensemble du terminal conteneur pendant les travaux.

1- Overall aerial view of the container terminal during works.

La mise en service du troisième jeu d'écluses du Canal de Panama en 2014, laisse pressentir un accroissement sensible du trafic dans la zone caraïbe et une augmentation de la taille des navires, notamment des porte-conteneurs.

Compte tenu de la demande actuelle et future en transbordement de conteneurs dans la zone caraïbe, la Martinique, qui occupe une position intéres-



© GOOGLE EARTH
2

sante sur les grands axes maritimes de l'est de la Caraïbe, souhaite développer son trafic conteneurisé et valoriser sa position géographique en tant que port de transbordement.

L'enjeu principal du projet réside en premier lieu dans la sécurisation des lignes mères d'EVP domestiques par l'optimisation du remplissage des navires avec le développement du trafic de transbordement.

2- Situation de la Martinique dans la Caraïbe.
3- Situation actuelle, 2 navires à poste.

2- Location of Martinique in the Caribbean.
3- Present situation, 2 vessels berthed.

En second lieu, l'optimisation de la desserte et les gains de productivité engendrés par le développement d'une activité complémentaire de transbordement doivent entraîner une amélioration de la compétitivité de la desserte (figure 4). Pour cela, le port doit faire évoluer ses installations afin d'accueillir un trafic plus important et des navires plus nombreux et de dimensions plus grandes qu'aujourd'hui (figure 5).

L'objectif final est de permettre l'accueil des bateaux de projet suivants :

- Over Panamax :
 - Longueur 260 à 294 m ;
 - Tirant d'eau (TE) de 12,5 m (pouvant atteindre 13,5 m sur certains navires) ;
 - Déplacement 84 500 t.
- Petit navire type feeder (transbordement dans la zone caraïbe) :
 - Longueur 120 m à 150 m ;
 - Déplacement 12 000 t à 18 000 t.

Deux étapes de travaux sont prévues pour atteindre cet objectif.

Les travaux présentés concernent la première étape, à savoir l'extension au sud-est du terminal, comprennent une extension de terre-plein portuaire de 2,4 ha, et une digue d'enclosure de 550 m (figure 6).

CONCEPTION CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Artelia a assuré, dans le cadre de la maîtrise d'œuvre, les missions géotechniques G2-AVP et G2-PRO (tableau 1). Le terminal à conteneurs des Grives est situé à l'embouchure de la rivière Monsieur.

Les terrains sont constitués d'alluvions, avec des argiles limoneuses tourbeuses, des sables madréporiques plus ou moins argileux, surmontés de vases.

Les sables madréporiques présentent une proportion très variable de débris de corail.

Seuls des sondages carotés de gros diamètre et des techniques de carottage adaptées permettent d'obtenir une représentativité correcte de la teneur en madrépores.

L'épaisseur des alluvions varie de 10 m à plus de 30 m.

Le substratum est la tuffite, altérée puis raide.

Au droit de l'extension Sud-Est, on recoupe peu d'argile tourbeuse, et la teneur en madrépores est plus élevée que la zone Nord-Ouest, proche de la rivière Monsieur.



© GPMLM
3

TABLEAU 1 : MODÈLE GÉOMÉCANIQUE

N° de couche	Type de sol	pl* (MPa)	Em (MPa)	E/Pl	α	qc (MPa)	Rf (%)	Qc/pl*	C' (kPa)	ϕ'	Cu (kPa)	< 80 μ m (%)	< 2 mm (%)
1	Sables Vasards	0.17	1 (1)	6	1/3	0.1	-	-	-	-	-	-	-
2	Sables madréporiques	0,1	1	10	1/3	0,8	1,7	8	3	28	20/50	32	67
3	Sables madréporiques faciès argileux												
4	Argile d'altération du substratum	1,2	12	10	2/3	5	3,2	5,5	14	26	100	67	88
5	Tuffite altérée	2,3	27	12	2/3	-	-	-	16	33	150	-	-
6	Tuffite raide	4,5	53	12	0,5	-	-	-	50	35	250	-	-
7	Matériau granulaire 0/300 mm	-	-	-	-	-	-	-	0	45	-	-	-

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE - STABILITÉ GÉOTECHNIQUE

L'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de type rocheux est :
→ $a_{gr} = 3 \text{ m/s}^2$.

La catégorie d'importance des talus donnée par le maître d'ouvrage est I, le coefficient d'importance γ_I est donc égal à 0,8.

La valeur de paramètre de sol S vaut 1,35, pour une classe de sols sismique D (alluvions en place). La stabilité des digues d'enclosure est justifiée avec une approche traditionnelle Eurocode 8, en minorant les caractéristiques de cisaillement des matériaux en place et rapportés.

SOLLICITATIONS HYDRODYNAMIQUES

La baie de Fort-de-France, au nord de laquelle se trouve le terminal à conteneur de la Pointe des Grives, est ouverte à l'ouest sur la mer des Caraïbes (2 400 km de fetch jusqu'au Mexique).

Le site de la Pointe des Grives est donc naturellement protégé des houles d'alizés de nord-est mais il l'est moins par les mers levées par les cyclones, qui de par leur nature tourbillonnaire génèrent des vagues vers le site, quelle que soit leur trajectoire à l'ouest du site. Deux types d'agitation sont donc à considérer :

→ L'agitation locale : clapots d'alizés levés à l'intérieur même de la baie (100 ans), niveau d'eau = 0,94 m NGH : Hm0 = 1,2 m, période = 4 s ;

→ L'agitation du large : houles levées au large propagées (100 ans), sud-ouest, niveau d'eau = 1,8 m NGH : Hm0 = 2 m, période = 10,5 s.

PROFILS DES TALUS DE PROTECTION

Les profils des talus de protection sont donnés sur les figures 7 et 8.

PARTICULARITÉS DE LA CONCEPTION - MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

Les caractéristiques mécaniques des terrains sont médiocres. Mais la représentativité des sondages carottés et des sondages pressiométriques n'est pas parfaite.

Les terrains ont été jugés compressibles par les études antérieures, avec une amplitude de tassement métrique. En concertation avec le maître d'ou-

4 & 5- Photos illustrant deux navires CMA-CGM à quai.

6- Vue aérienne du terminal, travaux achevés.

7- Coupe A digue Sud.

4 & 5- Photos illustrating two CMA-CGM vessels at the quay.

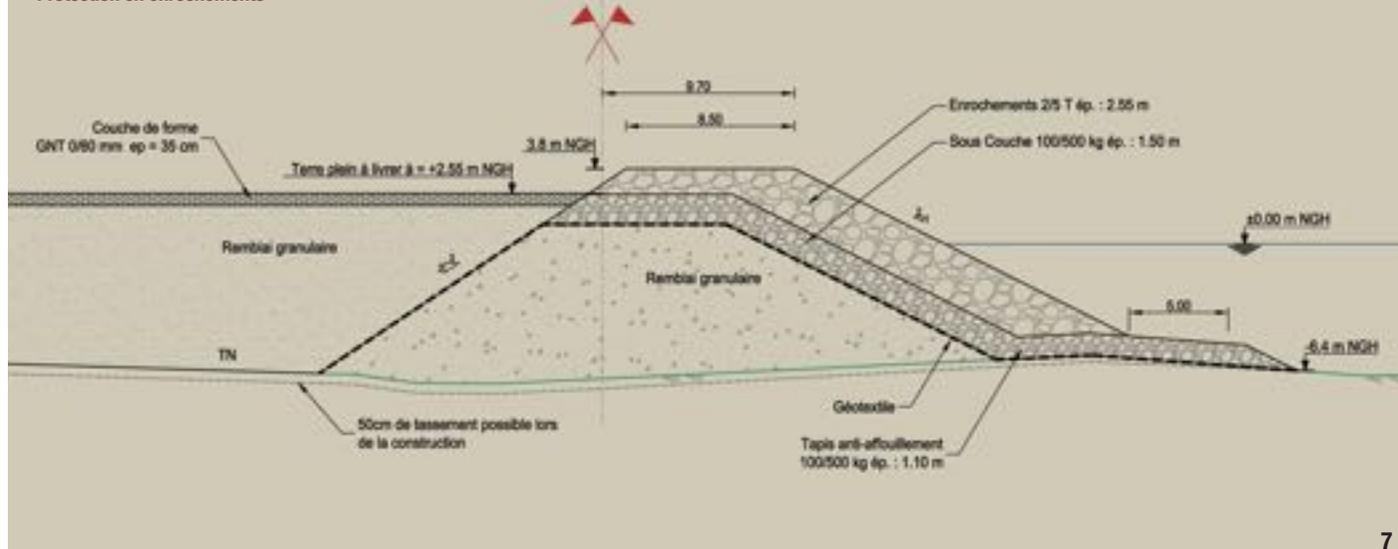
6- Aerial view of the terminal, works completed.

7- Cross section A of the southern breakwater.



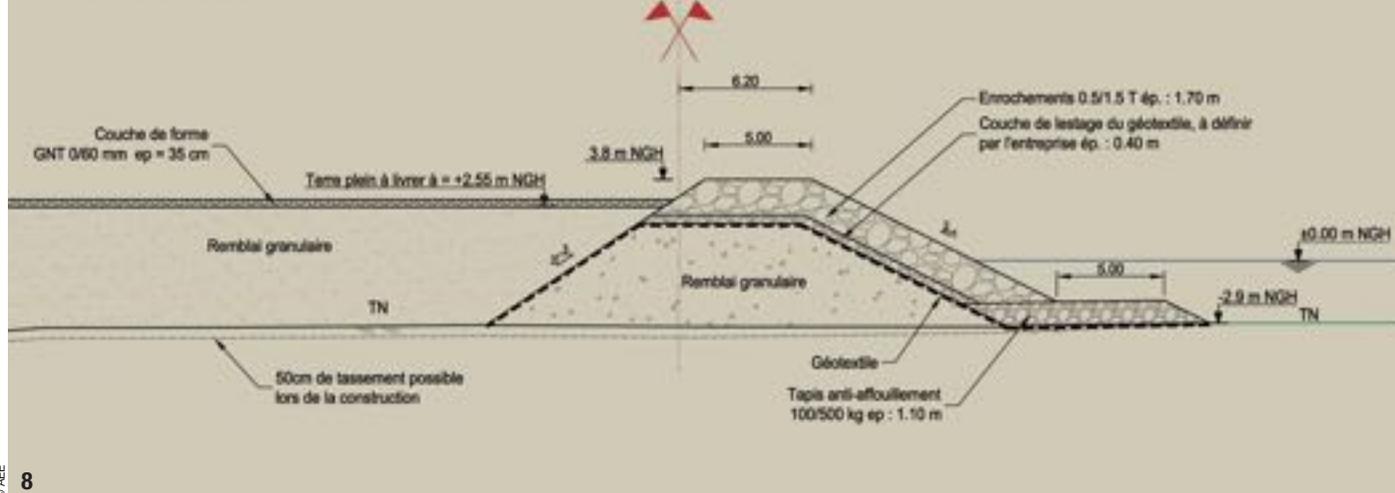
COUPE A DIGUE SUD

Protection en enrochements



COUPE B DIGUE EST

Protection en enrochements



© AEE 8

vrage, une stratégie de reconnaissances géotechniques complémentaires adaptée au contexte et au projet a été mise en œuvre. Un pénétromètre statique lourd de 20 t a été apporté depuis la métropole. Il a permis de déterminer la compacité et l'épaisseur des sols lâches de manière continue, en traversant les bancs métriques de madrépores. Aucun dragage n'est autorisé, que ce soit pour les matériaux granulaires d'emprunt ou les purges de matériaux les plus compressibles. La conception géotechnique et hydraulique prend donc en compte des matériaux de carrière durs, anguleux et charpentés (matériaux de carrière, Andésite, 0/300 mm, teneur en fines très faible).

8- Coupe B digue Est.

9- Instrumentation : profils de tassomètres et pressions interstitielles (CPI).

10- Principe schématique de l'acquisition automatique.

8- Cross section B of the eastern breakwater.

9- Instrumentation: settlement gauge and pore pressure meter profiles.

10- Schematic principle of automatic data acquisition.

L'amplitude de tassement calculée a été revue à la baisse, avec des valeurs comprises entre 30 et 50 cm, suivant les hauteurs de remblai et de sables madréporiques.

Une instrumentation a été conçue et mise en place afin de suivre les tassements. Une redondance de technologie de capteur est installée afin de pallier les dommages inévitables pendant les travaux de terrassement :

- Des cellules de pression interstitielle (CPI) pour suivre la dissipation des pressions interstitielles (vérification du phénomène de consolidation) ;
- Des capteurs de tassement (CT), magnétiques et électriques, pour le suivi des tassements.

Deux profils de 3 CPI + 3 CT ont été mis en œuvre, sous nappe, sous l'assise du remblai, selon l'implantation représentée sur les figures 9 et 10.

Les capteurs sont munis d'une acquisition et d'une transmission automatique vers une centrale placée dans une armoire électrique à terre.

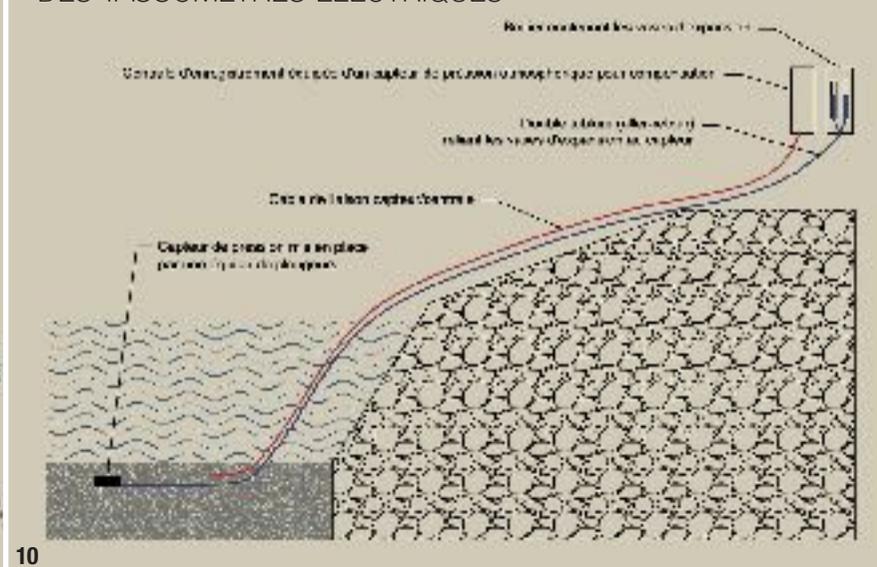
Le câblage et les gammes de capteurs de tassement sont adaptés à une amplitude de tassement élastique attendu de 20 cm au nord à 50 cm au sud.

Les mesures sont effectuées par l'entrepreneur (sous-traitant géotechnique et instrumentation) avec la fréquence suivante :



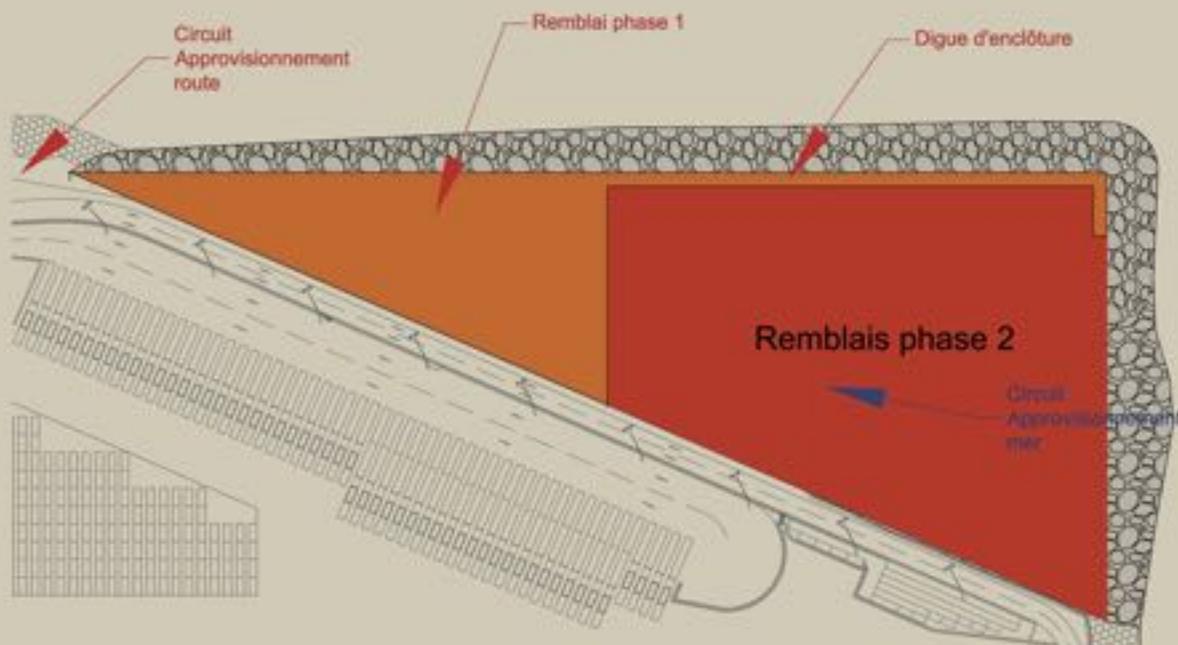
© GINGER GEOLAB 9

SCHÉMA DE LA DISPOSITION DES TASSOMÈTRES ÉLECTRIQUES



10

REMBLAI PHASES 1 ET 2



11

© GPM/MLM

- Point 0 à la mise en service des capteurs ;
- Un mois après le point 0 ;
- Un mois après l'atteinte de la cote de l'arasé de la plateforme ;
- Puis un rapport mensuel durant 6 mois.

Dans le cas où les tassements dépasseraient le critère de projet acceptable, une solution de renforcement de sol par colonnes ballastées est dimensionnée.

PHASAGE DES TRAVAUX

Le phasage de travaux est le suivant :

- 1-** Démontage du talus d'enclosure existant ;
- 2-** Mise en œuvre des talus d'enclosure sur environ les 2/3 de l'emprise de terre-plein projeté, profondeur d'eau atteignant 5 m, avec une épaisseur de vases faible (figures 11 et 12) ;
- 3-** Remblaiement d'environ 40 000 m³ de matériaux granulaires d'apport, par voie terrestre, pour constituer le terre-plein d'une superficie voisine de 1 ha ;
- 4-** Talus de protection provisoire ;
- 5-** Analyse de l'instrumentation et de la cinématique de tassements primaires et de consolidation ;
- 6-** Réalisation de la couche de forme en matériaux granulaires ;
- 7-** Réalisation d'un revêtement en enduit superficiel, bicouche d'accrochage, pour permettre l'exploitation de la surface créée, pour une période limitée, avant réalisation

de la structure de chaussée finale (figures 13 et 14) ;

- 8-** Réalisation des réservations pour les exutoires du réseau d'assainissement ainsi que pour le réseau incendie.

RETOUR D'EXPÉRIENCE INSTRUMENTATION

Les câbles de l'instrumentation ont été protégés par des buses en béton, montées à l'avancement des terrassements sous eau puis terrestres. Environ 50% des capteurs ont été endommagés.

11- Remblai phases 1 et 2.
12- Vue aérienne de la première phase de travaux.

11- Backfill phases 1 and 2.
12- Aerial view of the first work phase.

Compte tenu de la redondance des mesures, les profils de tassement ont pu être suivis pendant toute la durée du chantier. Les amplitudes de tassement maximales mesurées ont été de l'ordre de 30 cm, majoritairement pendant la construction.

Les tassements différés après un an de travaux ont été limités, y compris au niveau des surépaisseurs de vases. Le suivi des tassements et leur analyse ont permis de valider la conception. Aucun renforcement de sol n'a donc été nécessaire.



12

© MAD IN DRONE 08/2015 - GPM/MLM



© MADIN DRONE 05/2016 - GFM/LM



© MADIN DRONE 03/2017 - GFM/LM

13- Deuxième phase de travaux.
14- Vue aérienne - chantier terminé.

13- Second work phase.
14- Aerial view - completed project.

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Terre-plein portuaire, surface : 2,4 ha
- 550 m de talus d'enclosure en enrochements :
 - 8000 m³ d'enrochements 30/100 kg
 - 13000 m³ d'enrochements 100/500 kg
 - 6000 m³ d'enrochements 0,5/1,5 t
 - 10000 m³ d'enrochements 2/5 t
- 140 000 m³ de remblais granulaires en matériaux de carrière, Andésite, 0/300 mm
- Trois profils d'instrumentation (cellules de pression interstitielle, tassomètres électriques et magnétiques)

REPLISSAGE DU CASIER - RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

À noter que le remplissage du casier par les matériaux peut générer de la surverse et donc une dégradation des digues et ouvrages et un panache turbide. L'entrepreneur a assuré la mise en œuvre des dispositions nécessaires pour éviter le phénomène : confinement provisoire du casier, rideau géotextile.

STRATÉGIE MATÉRIAU - ÉCONOMIE DU COÛT DE CONSTRUCTION

Au bilan, la méthode observationnelle et la gestion des matériaux de carrière de très bonnes caractéristiques mécaniques ont permis de réaliser le chantier avec un coût optimisé et dans le délai attendu. Ces travaux ont eu un impact minime sur l'environnement. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :**
Grand Port Maritime de La Martinique : Service Ingénierie & Projets (SIP)
- MAÎTRE D'ŒUVRE :**
Artelia Eau & Environnement, Activité Maritime, Grenoble
- ENTREPRENEUR :**
Groupement Colas - Balineau, La Martinique

ABSTRACT

EXTENSION OF THE GRIVES CONTAINER TERMINAL - MARTINIQUE

PATRICK GARCIN, ARTELIA - BENOIT SEIDLITZ, GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE - GÉRALDINE CASSE, ARTELIA

The southeast extension of the container terminal is located in a region of maximum seismicity according to the French regulations and on alluvia having very mediocre properties. Major subsidence amplitudes are foreseen. The design allows for a complete absence of dredging (no offshore borrow material, no substitution), to protect the environment of the Fort-de-France bay. The "observational method" uses appropriate complementary geotechnical reconnaissance, a strategy of fine-grained filler materials and instrumentation. Post-project analysis of subsidence monitoring is provided at delivery of the quayage after twelve months of works. □

AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE GRIVES - MARTINICA

PATRICK GARCIN, ARTELIA - BENOIT SEIDLITZ, GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE - GÉRALDINE CASSE, ARTELIA

La ampliación sudeste de la terminal de contenedores está situada en una zona de máxima sismicidad, de acuerdo con la normativa francesa, y sobre aluviones de características muy mediocres. Se han previsto asentamientos de terreno de gran amplitud. El diseño incluye la ausencia total de dragado (ningún material de origen marítimo, ninguna sustitución), respetando el entorno de la bahía de Fort-de-France. El «método de observación» utiliza reconocimientos geotécnicos complementarios adaptados, una estrategia de materiales granulares de relleno y una instrumentación. En el momento de la entrega del terraplén se aportará un feedback del seguimiento de los asentamientos tras 12 meses de obras. □



PROJET DE L'URBANISATION EN MER « L'ANSE DU PORTIER » PRINCIPAUTÉ DE MONACO

AUTEURS : PHILIPPE JAN, DIRECTEUR DE TRAVAUX MONACO, BOUYGUES TP MONACO -
CAROLINE VALENTIN BRUNEVAL, CHEF DE GROUPE COMMUNICATION, BOUYGUES TP MONACO

LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO A DEPUIS TOUJOURS LA MER POUR HORIZON. UN HORIZON GÉOGRAPHIQUE, AVEC UN TERRITOIRE AU BORD DE LA MÉDITERRANÉE. UN HORIZON POLITIQUE, AVEC UNE GRANDE TRADITION DE NAVIGATEURS, PROLONGÉE DEPUIS PLUS DE CENT ANS PAR UNE ACTIVITÉ RÉSOLUE EN FAVEUR DE LA CONNAISSANCE ET DE LA PRÉSERVATION DES OCÉANS. CETTE TRADITION SE POURSUIT AUJOURD'HUI DANS UN PROJET AMBITIEUX D'EXTENSION EN MER, VISANT À LA FOIS À CRÉER DES SUPERFICIES SUPPLÉMENTAIRES ET À EXPLORER DE NOUVELLES MANIÈRES DE VALORISER LE PATRIMOINE NATUREL MARIN.

HISTORIQUE DU PROJET

Depuis plus de 150 ans, la Principauté de Monaco a choisi d'adapter son urbanisme à l'exiguïté de son territoire de 2 km².

La rareté du foncier disponible l'a notamment conduite à s'étendre progressivement sur la mer avec la réalisation de terre-pleins (Portier et Sporting), des plages du Larvotto, du quartier de

Fontvieille ou encore de l'extension du port Hercule, pour un total de plus de 40 ha gagnés sur la mer, représentant 20% du territoire.

En 2013, S.A.S. Le Prince Albert II annonçait sa décision de lancer un projet d'urbanisation en mer, marqué par une forte ambition pour ce qui concerne le développement durable et la protection de l'environnement, et confié à

**1- Ensemble
du projet.**

**1- Overall
project.**

un opérateur susceptible de prendre en charge un projet global, depuis sa conception jusqu'à sa réalisation, en le finançant intégralement et se rémunérant sur la vente des surfaces immobilières développées.

Le groupement S.A.M. l'Anse du Portier/Bouygues Travaux Publics, a été retenu pour une phase de négociation exclusive (figure 2).

SCHÉMA ORGANIGRAMME DU PROJET UEM



© DR 2

PROGRAMME

La superficie de l'extension en mer représente environ 6 ha et permettra le développement d'un nouveau quartier de la Principauté.

L'infrastructure est majoritairement construite par voie maritime. Le projet est constitué d'un terre-plein entouré d'une ceinture de protection composée de 18 caissons en béton posés sur un remblai sous-marin.

Il permettra la réalisation de :

- 60 000 m² de surfaces vendables comportant principalement des logements de très grand luxe (collectifs et individuels) et des commerces (3 000 m² environ) ;

2- Schéma Organigramme du projet UEM.

3- L'Anse du Portier.

4- Vue de drone des travaux de la Chambre du Larvotto.

2- Project organisation chart.

3- Anse du Portier cove.

4- Drone's view of work on the Chambre du Larvotto.

- des équipements publics dont un parc végétalisé, une extension du Grimaldi Forum d'environ 5 000 m², un parking public et un port d'animation d'une trentaine d'anneaux ;
- de larges espaces publics avec une place centrale et des cheminements piétonniers de qualité.

UN NOUVEL ÉCO-QUARTIER

Le projet de l'Anse du Portier sera finalisé en 2025. Il constituera le 1^{er} éco-quartier monégasque. L'obtention de la certification environnementale « HQE Aménagement » couronnera les engagements écologiques qui concernent la partie terrestre de la réalisation.

Cet éco-quartier sera exclusivement piétonnier et accueillera 4 stations de vélos (dont 2 pour vélos électriques). Du point de vue énergétique, 40 % des consommations conventionnelles de l'éco-quartier seront d'origine renouvelable, solaire photovoltaïque et thalassothermique, dont 80 % pour le réseau chaud et froid et 80 % pour l'éclairage public.

Enfin, les logements collectifs seront labellisés « BREAM Excellent », ce qui consacrera l'exigence et l'ambition environnementale de l'ensemble du projet (figure 3).

MESURES & ENGAGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

La nouvelle extension est limitée au nord-est par la réserve marine du Larvotto et au sud-ouest par l'aire protégée du tombant coralligène des Spélugues.

Sa forme se veut adaptée à l'écoulement du courant près de la côte, avec une emprise maritime limitée, et s'inscrit avec naturel dans le paysage côtier.

La conception du projet d'extension en mer a fait l'objet d'un suivi particulièrement exigeant, en raison des objectifs environnementaux fixés par la Principauté, portant sur le maintien de la qualité des biocénoses, des eaux et des ressources marines, ainsi que sur la réduction des nuisances d'une manière générale.

Un code de bonne conduite est également observé par toutes les entreprises travaillant sur le chantier.

Il vise à adapter les lieux et horaires des différentes opérations pour limiter les nuisances vis-à-vis du voisinage (figure 4).



3

© VALODE & PISTRES ARCHITECTES



4

© BOUYGUES TP / BIRDEYCAM



5

© BOUYGUES TP / FOXROAD

OPÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

Bouygues Travaux Publics Monaco a ainsi intégré les conclusions de l'étude d'impact environnementale à travers une série de mesures d'évitement, de réduction et de compensation visant à garantir le respect de ces engagements environnementaux lors des travaux (voir encadré :

Opérations environnementales). En premier lieu, l'infrastructure maritime intègre une importante dimension écologique en proposant une grande diversité d'habitats artificiels, organisés en corridors écologiques verticaux et horizontaux. Ainsi les caissons constituant l'infrastructure maritime font l'objet d'un traitement de parois favorisant

5- Grande nacre.

6- Panier de posidonie.

5- Large mother of pearl.

6- Posidonia oceanica.

l'accueil d'espèces végétales et animales.

Tous les travaux préparatoires ont été validés par des experts scientifiques indépendants et feront l'objet d'un suivi régulier pendant 10 ans : réserve du Larvotto, tombant des Spélugues et roches profondes, peuplements de poissons, récifs artificiels, éco-conception (figure 5).

OPÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

- Des bouées munies de capteurs permettant le suivi de la turbidité, c'est-à-dire l'ensemble des particules en suspension dans l'eau de mer, sont installées autour du chantier afin de pouvoir surveiller et déclencher des alertes si nécessaire.
- 2 écrans sous-marins anti-turbidité sont installés le long des réserves du Larvotto et des Spélugues (140 m de long chacun).
- 145 grandes nacres (*Pinna nobilis*), espèce protégée présente dans l'emprise du projet, ont été déplacées vers la réserve marine du Larvotto.
- Certains rochers colonisés par l'algue protégée « *Lithophyllum Byssoïdes* » sont relocalisés.
- Un prélèvement de 518 m² d'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) a été réimplanté dans des jardinières sous-marines au pied de la digue de Fontvieille (115 m²) et dans la réserve du Larvotto (385 m²).
- Un écran de protection phonique d'une hauteur de 5 mètres et d'une longueur de 500 mètres a été installé le long de la promenade des champions avec 3 visuels architecturaux différents.
- Des bouées spécifiques permettant le suivi sonore marin pendant les phases de dragages.
- La Caulerpe (*Caulerpa taxifolia*), une espèce d'algue invasive, a fait l'objet d'une éradication complète avant le début des travaux maritimes (figure 13).
- Un code de bonne conduite.



6

© BOUYGUES TP / FOXROAD



© BOUYGUES TP
7

LA POSIDONIE

Une transplantation de plus de 500 m² de *Posidonia oceanica* présente dans l'emprise du projet a été réalisée par Andromède Océanologie et Trasomar selon la méthode Safebent. Au total, 648 mottes d'herbier ont été prélevées (figure 6).

Les moyens engagés ont été importants. Elle a nécessité la présence

7- Jack up.
8- Écran anti-turbidité.

7- Jack-up.
8- Anti-turbidity screen.

d'une barge, d'un jack up, d'une pelle long bras équipée d'une transplanteuse et de plus de 30 personnes. Les travaux ont mobilisé les équipes pendant plusieurs mois (figure 7).

ÉCRANS SOUS-MARINS

Lors du démarrage des travaux maritimes, début avril 2017, des mesures ont été prises pour limiter la dispersion

des particules fines. Des écrans sous-marins de protection anti-turbidité ont été installés en limite des deux réserves du Larvotto et des Spélugues et seront maintenus en place pendant toute la durée du chantier. Des écrans flottants mobiles ont complété ce dispositif lors de phases de travaux plus délicates (figure 8).

TRAVAUX DE DRAGAGE ET DÉPOSE D'ENROCHEMENTS

Pendant la phase de travaux de dragage, des méthodes de construction ont aussi été choisies de façon à minimiser ces impacts en limitant et en maîtrisant notamment la turbidité en temps réel par des mesures de la qualité des eaux.

Par exemple, pour le dragage des sédiments et le remblaiement de l'assise des caissons, qui sont les opérations les plus délicates, des matériels et des protocoles adaptés ont été sélectionnés (utilisation de bennes étanches, absence de surverse lors du dragage, lavage préalable des matériaux de remblaiement...) (figures 9 et 10).

Le système de surveillance et de contrôle permet de déclencher des alertes en cas de dépassement de seuils préalablement fixés.

Sur l'emprise du projet, les vases polluées sont extraites au moyen d'une pelle rétro-excavatrice équipée d'une benne écologique qui permet d'éviter la mise en suspension dans l'eau des matériaux extraits. ▶



© BOUYGUES TP / FOXROAD
8

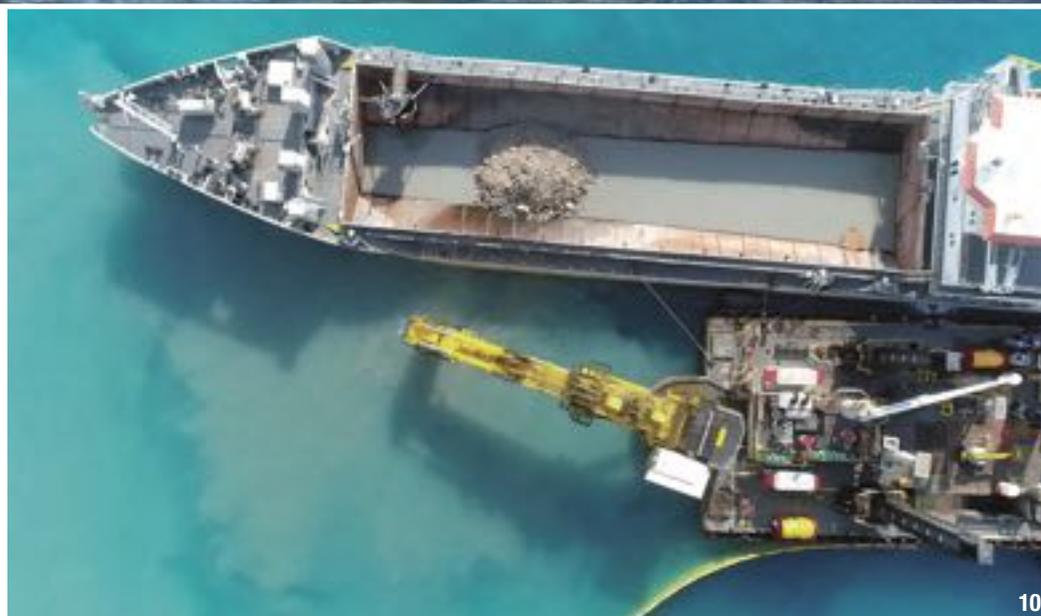


9

© BOUYGUES TP

Ces matériaux sont ensuite évacués par chaland au centre spécialisé de traitement de déchets d'Envisan, proche de Toulon.

Suite à cette 1^{re} phase, les sédiments non pollués sont extraits à l'aide d'une drague aspiratrice en marche (DAM), jusqu'à 56 m de profondeur. Afin de ne pas augmenter la turbidité, cette drague fonctionne sans surverse, c'est-à-dire sans rejeter l'eau qu'elle aspire avec les sédiments. Elle les achemine vers la zone d'immersion, choisie pour ne pas empiéter sur la faune et sur la flore marines, située dans les eaux territoriales de Monaco, à 2,5 milles de la côte et par 200 m de profondeur. Ils y sont re-largués par l'élinde de la drague, à moins 75 m, toujours pour minimiser la création de turbidité (figure 11).



10

© BOUYGUES TP / BIRDEYCAM

CONSTITUTION DU REMBLAI SOUS-MARIN

Les opérations de dragages achevées, le remblaiement sous-marin peut débuter sur le fond rocheux mis à nu : des matériaux (20/180 mm) spécialement élaborés en carrière sont stockés et lavés dans le port de Fos-sur-Mer. Ils sont chargés à bord d'un navire *fall pipe vessel* de capacité 30 000 t, conçu pour les disposer au fond de l'eau. Puis ils sont livrés à Monaco après 12 heures de mer, à raison de deux voyages par semaine.

Ces matériaux d'assise sont mis en œuvre par un tuyau robotisé qui les achemine au plus proche du fond marin.

9- Déplacement des enrochements.

10- Vue de drone du dragage des vases polluées.

11- Dragage des souilles à la Drague Aspiratrice en Marche (DAM).

9- Moving riprap.

10- Drone's view of dredging of polluted sludge.

11- Dredging trenches by suction dredger.

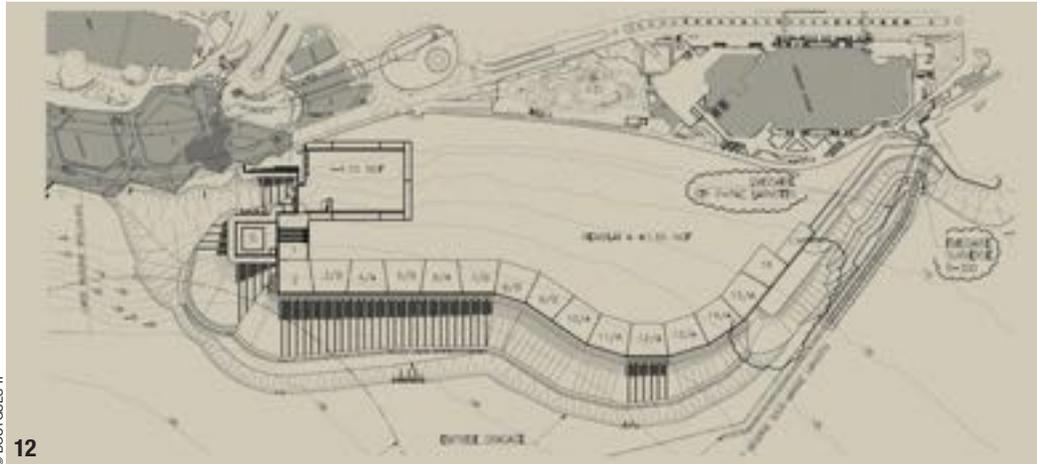


11

© BOUYGUES TP / BIRDEYCAM

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 110 000 t d'enrochements déposés de la digue du Portier existante
- 50 000 m³ de dragage et traitement au centre spécialisé de sédiments pollués.
- 60 000 m³ de dragage de sédiments pollués et traitement en centre spécialisé.
- 2 870 000 t de matériaux de carrière 20/180 provenant de Toulon et de Fos-sur-Mer par navire pour réaliser les remblais supportant les caissons, le ballastage des caissons et les remblais techniques à l'arrière des caissons.
- 100 000 t d'enrochements posés en protection du nouveau remblai sous-marin
- 18 caissons préfabriqués à Marseille : 86 000 m³ de béton armé incluant 18 000 t d'armatures, dont 3 500 t d'acier inoxydable / 10 000 t par caisson (30 x 40 x 26 h)
- 600 000 m³ de sable de dragage pour réaliser le nouveau terre-plein
- 1 540 000 m³ de remblais traités par vibro-compactage maritime ou terrestre
- 360 000 m³ de confortement des sols
- 17 000 m³ de béton de génie civil mis en œuvre sur le chantier à Monaco
- 700 personnes pendant 4 ans et demi constituant les équipes de direction, ingénierie, encadrement et production du projet (Monaco et Marseille).



© BOUYGUES TP
12

Toutes ces précautions concourent également à limiter la turbidité. Arrivés à leur niveau définitif, ces remblais sous-marins sont compactés par des aiguilles vibrantes installées sur des pontons. Ils sont ensuite nivelés par une mince couche de ballast, constituée de matériaux plus fins (40/60 mm) réglés à l'aide d'un niveleur sous-marin (figure 12).

12- Synthèse de constitution du remblai.
13- Éradication de la caulerpe.

12- Overview of backfill composition.
13- Eradication of Caulerpa.

L'infrastructure est étudiée au bénéfice de la faune et de la flore marines. Les façades des caissons sont équipées de dispositifs écologiques que les équipes de recherche et développement de Bouygues Travaux Publics et sa structure spécialisée Biositiv ont mis au point en partenariat avec des spécialistes de la restauration écologique marine. Des récifs artificiels seront

installés devant le talus d'assise des caissons avec des objectifs multiples : écologiques, récréatifs (pour la plongée) et halieutiques (biomasse de poissons).

CONCLUSION

Il faudra 4 ans et demi aux équipes de Bouygues Travaux Publics Monaco et de ses partenaires pour mener à bien ce chantier de l'infrastructure maritime, essentiellement réalisé à partir de la mer. Les ouvrages maritimes éco-conçus et les récifs artificiels constitueront de nouveaux corridors écologiques. À proximité, le tombant coralligène des Spélugues bénéficiera d'une opération de restauration. L'ensemble sera mis en cohérence dans la durée, via le plan de gestion environnementale réalisé par la Principauté, en coopération avec Bouygues Travaux Publics Monaco. Respectant les fortes contraintes environnementales du site, tant sur le plan écologique qu'urbain, cette réalisation offre à la Principauté l'opportunité d'un développement harmonieux, dans le respect de son environnement (figure 1). □



© BOUYGUES TP / FOXROAD / ANDROMEDE
13

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- CONSTRUCTEURS :**
Bouygues Travaux Publics Monaco / Bouygues Bâtiment Sud-Est / Bouygues Travaux Publics SAS
Engeco / JB Pastor & Fils
Michel Pastor Group / Smetra / Satri
- ARCHITECTES - URBANISTES - PAYSAGISTES :**
Alexandre Giraldi / Patrick Raymond
Valode & Pistre Architectes
Michel Desvigne
Renzo Piano / Emmanuel et Olivier Deverini
- BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUE / ENVIRONNEMENT :**
Egis / Oasis / Somibat / Mba (AMO) / JB Pastor & Snef / Creaplan / A9C
- CONTRÔLEUR TECHNIQUE :** Socotec / Cowi

ABSTRACT

OFFSHORE URBANISM PROJECT, "L'ANSE DU PORTIER", PRINCIPALITY OF MONACO

PHILIPPE JAN, BOUYGUES TP - CAROLINE VALENTIN BRUNEVAL, BOUYGUES TP

In 2016 Bouygues Travaux Publics began work for the maritime infrastructure of the offshore urbanism project in "Anse du Portier" cove. This 6-hectare platform on which will be built the new eco-district and a 30-berth marina is expected to be completed by the end of 2020. Environmental conservation is key to the project and, for the first time in the world, an offshore extension will be built taking into account underwater life. For example, the first phase of preparatory work began by shifting several species, a very tricky operation which took several months and required the development of new techniques. □

PROYECTO DE LA URBANIZACIÓN SOBRE EL MAR «L'ANSE DU PORTIER», PRINCIPADO DE MÓNACO

PHILIPPE JAN, BOUYGUES TP - CAROLINE VALENTIN BRUNEVAL, BOUYGUES TP

Bouygues Travaux Publics inició en 2016 las obras de la infraestructura marítima del proyecto de la urbanización sobre el mar L'Anse du Portier. La inauguración de esta plataforma de 6 ha sobre la que se construirá el nuevo eco-barrio, así como un puerto deportivo con 30 atracaderos, está prevista para finales de 2020. La preservación del entorno es uno de los ejes del proyecto, y por primera vez en el mundo se construirá una ampliación sobre el mar teniendo en cuenta la vida submarina. Así, la primera fase de las obras preliminares comenzó con el desplazamiento de varias especies, una operación particularmente delicada que ha llevado varios meses y que ha precisado el uso de técnicas novedosas. □



1- Vue d'ensemble du flotteur Damping Pool®.

1- General view of the Damping Pool® float.

© PHOTOTHÈQUE IDEOL

FLOATGEN - CONSTRUCTION DE LA PREMIÈRE ÉOLIENNE EN MER EN FRANCE À SAINT NAZAIRE

AUTEURS : NICOLAS JESTIN, DIRECTEUR COMMERCIAL ADJOINT, BOUYGUES TP - RÉGIS BIGARD, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, BOUYGUES TP - PERCEVAL MODIANO, CADRE COMMERCIAL, BOUYGUES TP

LE PROJET FLOATGEN CONSISTE À CONSTRUIRE, INSTALLER ET TESTER PENDANT DEUX ANS AU LARGE DU CROISIC UN DÉMONSTRATEUR D'ÉOLIENNE FLOTTANTE DE 2 MW, QUI SERA LA PREMIÈRE ÉOLIENNE EN MER EN FRANCE. LA FONDATION FLOTTANTE DE L'ÉOLIENNE EST RÉALISÉE SELON LA TECHNOLOGIE BREVETÉE DAMPING POOL®. SA FORME D'ANNEAU CARRÉ DE 36 m DE CÔTÉ COMPORTE UNE OUVERTURE CENTRALE QUI PERMET UNE STABILITÉ OPTIMISÉE. ELLE EST RÉALISÉE EN BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT, ET CONSTRUITE SUR UN ENSEMBLE DE BARGES AMARRÉES EN BORD À QUAI DANS LE PORT DE SAINT NAZAIRE.

LE PROJET

FLOATGEN ET L'ÉOLIEN FLOTTANT

À l'heure où le développement des énergies renouvelables s'impose partout dans le monde avec 60% des nouvelles capacités électriques d'ici 2040 prévues de source renouvelable, l'éolien en mer apparaît comme une des solutions les plus pertinentes.

À fin 2015 cette filière représente 12 000 MW installés dans 14 pays, avec un taux de croissance annuel moyen de 32% entre 2007 et 2015. Une forte baisse des coûts de production s'est accélérée en 2016.

Prévue à l'horizon 2020, la cible d'un coût de production de 100 €/MWh est déjà atteinte, voire dépassée sur certains projets attribués à des énergéticiens avec des tarifs de 70 €/MWh. L'éolien offshore est actuellement dit « posé » : l'éolienne est fixée sur une fondation ancrée dans le fond marin (monopieux, jackets métalliques ou fondations gravitaires), sise dans des profondeurs d'eau allant de 5 m à 40 m. Cette voie rencontre plusieurs limites : raréfaction des sites les plus propices, augmentation des coûts avec la profondeur d'eau, impacts sur l'envi-

ronnement marin et sur les paysages... L'éolien sur des fondations flottantes, reliées au fond marin par des lignes d'ancrage, répond à ces limitations et apparaît très prometteur. Les éoliennes en mer flottantes s'affranchissent de la contrainte de profondeur : elles peuvent être installées plus au large, ayant ainsi un impact visuel faible voire inexistant depuis la côte. Elles profitent aussi de vents plus constants et plus forts qui augmentent le rendement de production de l'électricité.

Le projet Floatgen est un démonstrateur 2 MW à échelle 1 d'éolien flottant.

C'est aussi la première éolienne en mer en France qui va être installée à 22 km au large du Croisic sur le site d'expérimentation en mer de l'École Centrale de Nantes, SEM-REV.

L'électricité produite, équivalente à la consommation annuelle électrique de 5 000 habitants, sera injectée sur le réseau électrique national pendant deux ans d'exploitation.

La technologie de fondation flottante appelée Damping Pool®, brevetée par la start-up française Ideol, est au cœur de ce projet coopératif formé dès 2013, qui réunit les mondes industriel

	IDEOL (Coordinateur – France) Ingénierie du système flottant global (ancrage, flotteur, câble d'export électrique), fourniture de l'éolienne et installation en mer
	ÉCOLE CENTRALE DE NANTES (France) Génie océanique et mis à disposition du site d'essais (SEM-REV) situé au large du Croisic, fourniture et installation du système d'ancrage
	BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS (France) Ingénierie de fabrication, construction et mise à l'eau du flotteur sur le port de Saint-Nazaire
	RSK GROUP (Royaume-Uni) Analyse de l'impact environnemental du système flottant
	ZABALA (Espagne) Gestion du consortium et communication interne au projet
	UNIVERSITÉ DE STUTTART (Allemagne) Contribution aux simulations numériques couplées et évaluation de la campagne de mesures
	FRAUNHOFER-IWES (Allemagne) Benchmark entre le système flottant FLOATGEN et d'autres solutions flottantes comparables

2

2- Partenaires du projet européen Floatgen.

3- De la conception à l'exploitation, planning général du projet.

2- Partners in the European Floatgen project.

3- From design to operation, master schedule of the project.

et académique avec sept partenaires européens, dont trois français (Ideol, Bouygues Travaux Publics et École Centrale de Nantes) (figures 2 et 3). Floatgen, porté par les membres du consortium industriel, est aussi soutenu par l'Union Européenne qui apporte un financement total d'environ 10 millions d'euros via le 7^e Programme-cadre de Recherche et de Développement Technologique.

L'Ademe, au titre du Programme des Investissements d'Avenir (PIA), apporte également son soutien à hauteur de 5,7 millions d'euros.

DESCRIPTION D'ENSEMBLE

La technologie Damping Pool® se caractérise par sa géométrie en anneau carré, pourvu d'une ouverture centrale qui permet une stabilité optimisée à moindre coût (figure 1).

Le flotteur de 36 m de côté et 9,5 m de hauteur, dont le tirant d'eau en service est seulement de 7,10 m, déplace en exploitation 5 400 t. Il est conçu en béton armé précontraint.

Ce choix s'explique par les bonnes caractéristiques de ce matériau qui requiert peu de maintenance en exploitation en mer, par des coûts de production attractifs pour une production en série, ainsi que par la possibilité qu'il offre de créer des retombées économiques à une échelle locale ou régionale au plus près des sites d'installation en mer. Ideol a réalisé l'ingénierie du projet, notamment un modèle couplé aéro/hydrodynamique pour les études structurelles globales et locales.

À partir des données de sortie de ce modèle, les études d'exécution ont utilisé les technologies existantes du BIM, avec un travail particulier de production des plans de ferrailage en 3D.

Les travaux d'ingénierie ont été revus et finalement certifiés par la société de classification Lloyd's Register (figure 4). ▷

LES GRANDES ÉTAPES DU PROJET



3

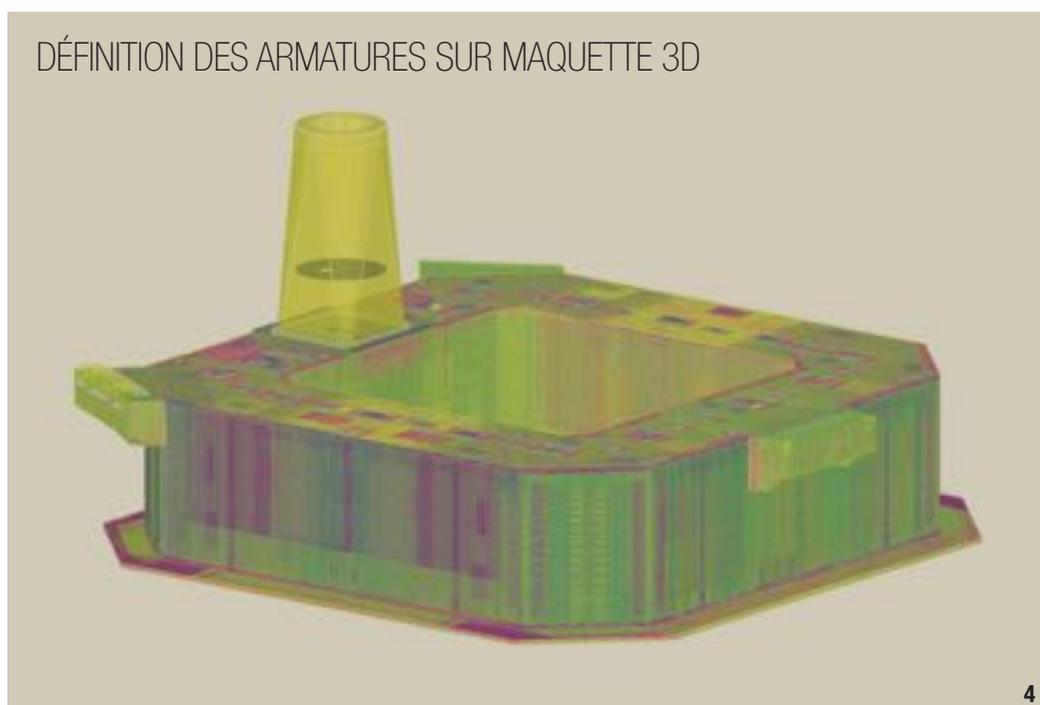
La structure est dimensionnée selon les critères les plus contraignants entre les codes de calcul utilisés pour les ouvrages offshore (DNV OS C502) et les Eurocodes.

La durabilité et la tenue à la fatigue d'un flotteur continuellement soumis à la houle se sont avérées être des critères particulièrement sensibles, conditionnant la densité des armatures et requérant la mise en œuvre de précontrainte pour éviter la fissuration dommageable à l'étanchéité.

La fondation flottante est maintenue en position sur site au moyen d'un système d'ancrage (2 lignes d'ancrage à l'avant et 4 lignes d'ancrages de part et d'autre à l'arrière). L'expérience issue de l'industrie offshore a servi à l'École Centrale de Nantes et Ideol pour mettre au point les spécificités d'un système d'ancrage innovant. Plutôt que de recourir à l'acier pour fabriquer les lignes d'ancrage, le choix s'est porté sur une fibre synthétique, le nylon, qui présente d'excellentes qualités de résistance (figure 5).

L'éolienne, de puissance nominale 2 MW, est un modèle Vestas V80 dont le diamètre de rotor est de 80 m, soit 40 m de longueur de pales. Le mât cylindrique de l'éolienne est fixé sur une pièce de transition, elle-même fixée au flotteur. Cet ensemble mesure 60 m de haut. L'ensemble constitué du mât, de la nacelle et du rotor, est monté sur le flotteur et pré-testé en condition abritée dans le port de construction, avant l'installation en mer.

Le site d'essai en mer SEM-REV opéré par l'École Centrale Nantes et le Cnrs, est conçu pour tester les systèmes de production d'énergies marines renouvelables. Raccordé au réseau électrique par un câble de 20 kV, il dispose de



DÉFINITION DES ARMATURES SUR MAQUETTE 3D

4

© PHOTOTHÈQUE BOUYGUES TP

toutes les autorisations administratives préalables. Ce site d'essais, de 1 km², est situé à 12 milles nautiques de la pointe du Croisic (22 km) et sa profondeur est de 33 m. Les conditions météocéaniques de SEM-REV, avec une hauteur maximale de vague (autrement appelé Hmax) de 16 m en conditions de retour 50 ans, sont particulièrement difficiles et démontrent ainsi la possibilité d'installer ce système flottant dans des zones marines exigeantes.

La phase de construction du projet est quasiment achevée à l'automne 2017 : la fondation flottante mise à l'eau, les lignes d'ancrage et le câble d'export sont installés sur site et prêts à connecter Floatgen lors de son installation prévue début 2018.

4- Définition des armatures sur maquette 3D.

5- Installation des lignes d'ancrage.

6- Assemblage des barges de construction.

4- Definition of reinforcing bars on 3D model.

5- Installation of anchorage lines.

6- Construction barge assembly.

UN FLOTTEUR CONSTRUIT SUR DES FLOTTEURS

Situé à moins de 40 km du site en mer, le port de Saint Nazaire s'est naturellement imposé pour la construction, de par sa localisation et son riche tissu industriel.

Située à l'entrée du port, la forme-écluse Joubert (50 m de large, 15,25 m de haut, qui vient d'accueillir le Queen Mary 2) s'est révélée une infrastructure particulièrement adaptée pour réaliser la mise à l'eau de la coque en béton (figure 6).

La solution initiale prévoyait une construction sur terre-plein puis une opération exceptionnelle de transbordement de la coque en béton vers un moyen naval de mise à l'eau. Afin d'exploiter



5

© PHOTOTHÈQUE IDEOL



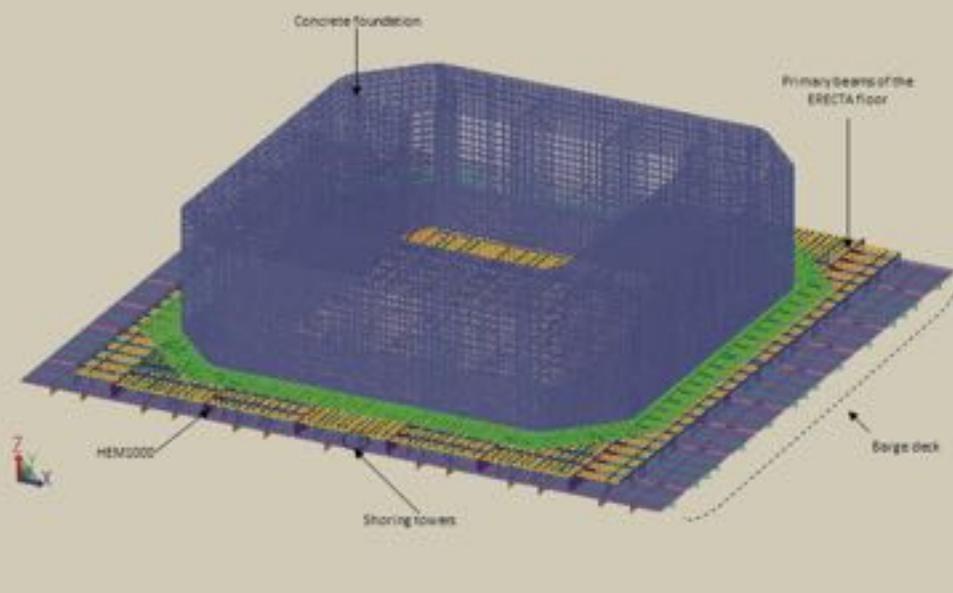
6

© PHOTOTHÈQUE BOUYGUES TP

MODÉLISATION DES BARGES DE CONSTRUCTION

© PHOTOOTHÈQUE BOUYGUES TP

7



au mieux les infrastructures portuaires existantes et de supprimer cette opération, la fondation flottante a finalement été construite directement sur un ensemble de trois barges solidarisées et amarrées bord à quai. Ces trois *sister barges* identiques de 66 m de long pour 15 m de large, sont arrivées de Hollande fin août 2016 et solidarisées avec 6 poutres HEM 1000 de 45 m de long soudées sur leur pont.

Ces poutres, complétées d'un ensemble de tours d'étaie et d'un réseau de poutrelles en aluminium, supportent un platelage en contreplaqué bakélinisé.

Ce système de support assure le transfert des charges du flotteur en construction vers les cloisons et renforts des barges, tout en conservant l'accès aux cellules de ballastage de celles-ci. Le radier du flotteur a été coulé sur ce platelage à 1,5 m au-dessus du pont des barges. Une étude préalable de vérification du support a validé sa résistance structurelle et les déflexions maximales selon plusieurs cas de charge (figure 7). La problématique intrinsèque à cette « construction à flot » était de garantir un support flottant stable et uniforme de construction, sans déflexions ni efforts parasites, alors même qu'un caisson de plusieurs milliers de tonnes y est graduellement construit. La réponse apportée consiste à assurer un ballastage/déballastage graduel des trois barges tout au long de la construction, de sorte à opérer avec un tirant d'air constant de 2,40 m. Ce plan de ballastage permet également d'éviter des

7- Modélisation des barges de construction.

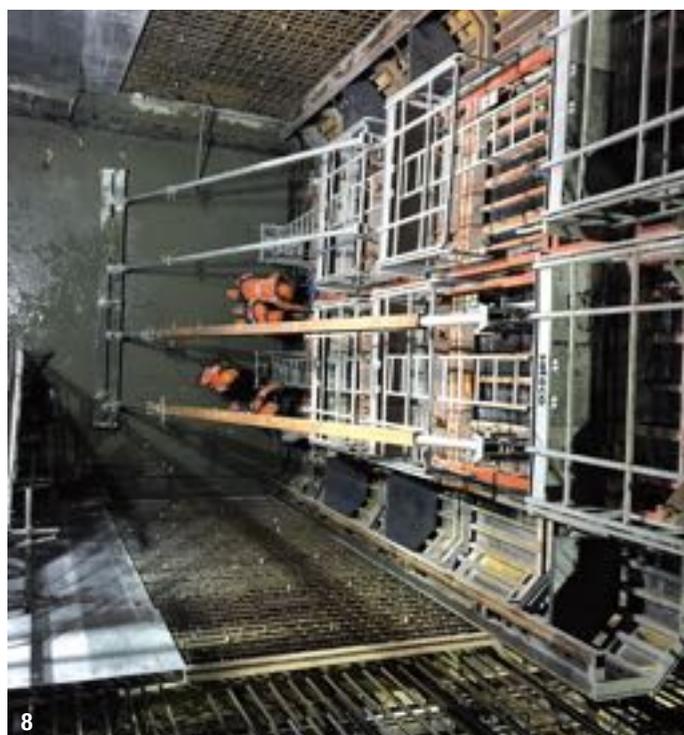
8- Coffrage d'un plot de voiles de 8,50 m de haut.

7- Construction barge modelling.

8- Formwork for a section of shear walls 8.50 m high.

efforts trop importants dans le système de supportage, notamment dans les liaisons entre barges.

Les barges de construction ont préalablement été remplies avec une quantité d'eau correspondant au poids de l'ouvrage. Chaque ajout de poids pour la construction a ainsi pu être compensé par des opérations de déballastage successives ; la localisation et le volume d'eau à pomper étant définis par un calcul sur le logiciel GHS. Les opéra-



8

© PHOTOOTHÈQUE BOUYGUES TP

teurs ont utilisé un réseau de pompes de 100 à 300 m³/h semi-automatique conçu pour le projet. Le respect du poids cible de l'ouvrage pour garantir sa flottabilité est primordial. Un enregistrement précis des poids d'armatures, de béton, d'inserts et d'accessoires de coffrage réellement mis en œuvre, et un suivi des modifications en cours de construction, ont permis de contrôler au cours de l'avancement des travaux l'estimation finale de son poids et la position de son centre de gravité.

LE MATÉRIAU BÉTON

Les contraintes du projet en termes de caractéristiques mécaniques, notamment pour permettre la mise en précontrainte de l'ouvrage, de durabilité, de mise en œuvre, etc., ont conduit à formuler un béton hautes performances (grade C55), léger et auto-plaçant, spécialement pour le projet.

Compte tenu de l'encombrement dans les voiles, l'approvisionnement du béton dans les coffrages par une benne ou une pompe ainsi que sa vibration par vibreurs plongeurs ont été remplacés par le pompage en pied de coffrage d'un béton auto-plaçant. À volume égal, c'est la maîtrise de la masse volumique du béton armé qui permet au flotteur de respecter le poids cible final et d'avoir le comportement attendu sur houle. Aussi, l'utilisation d'un béton léger de masse volumique proche de 2 000 kg/m³ a été retenue dès la phase de conception. Le béton auto-plaçant pouvant présenter des phénomènes de ségrégation et, dans le cas d'un béton léger, une remontée des granulats provoquant une baisse de résistance en partie haute du voile, le béton a été mis en œuvre dans les coffrages sur trois niveaux afin de limiter à environ 3 m la hauteur de remplissage par chacun des niveaux de pipes d'injection. Afin de valider ce mode opératoire ainsi que la position des points d'injection en regard de la géométrie des coffrages et des zones présentant une plus forte densité d'armatures, une maquette représentant un demi-plot a été réalisée.

Afin de maîtriser la rhéologie du béton, notamment en raison de la porosité des granulats légers, de nombreux essais ont été menés en partenariat avec un fournisseur de béton prêt-à-l'emploi installé dans la région de Saint Nazaire, à partir des bétons issus de la centrale principale ainsi que de la centrale à béton de secours. En effet, dans l'embarras des armatures des voiles, une interruption de bétonnage est absolument proscrite. ▶



9

© PHOTOTHÈQUE BOUYGUES TP

LES COFFRAGES

Pour limiter la pénibilité de la mise en place du ferrailage et les accès en hauteur, les panneaux de voiles ont été préfabriqués à plat sur le quai et redressés à l'aide d'un palonnier pour les positionner sur leurs attentes. Après stabilisation de ces cages, les armatures de jonction entre les différents panneaux constitutifs d'un plot ont alors été réalisées en place.

L'ouvrage est principalement composé de panneaux plans (voiles extérieurs, cloisons de refend). La plupart des coffrages employés sont composés de panneaux de coffrage standard Sateco Tpc, hormis la jonction des voiles et des cloisons qui présente un gousset. Des banches spécifiques dimensionnées et construites par le service matériel de Bouygues Construction ont permis l'alignement et le serrage des banches spécifiques sur les panneaux standards. Trois jeux de banches spécifiques ont été réalisés pour permettre la mise en place des coffrages sur deux ateliers distincts : soit un total de 1 000 m² de panneaux standard et 24 banches spécifiques (figure 8).

ÉTANCHÉITÉ DE LA STRUCTURE

De nombreuses dispositions concourent à assurer l'étanchéité - vitale ! - du flotteur. Un traitement particulier a été apporté aux zones de faiblesse déterminées a priori.

Les tiges de coffrage ont été découpées en plusieurs éléments. Une partie noyée dans l'ouvrage a été équipée d'une

plaque étanche. Les tiges extérieures aux voiles sont connectées à cette tige noyée par un cône de pose utilisé comme manchon de raccordement. Les reprises de bétonnage ont fait l'objet de dispositions spéciales, en plus de l'application d'un désactivant appliqué sur les coffrages des arrêts ou pulvérisé sur les reprises horizontales.

Les arrêts horizontaux ont été équipés d'un joint waterstop en polymère PVC/caoutchouc mis en place lors de la réalisation du premier plot. Pour les joints situés sous la ligne de flottaison, le joint waterstop a été doublé d'un réseau d'injection installé lors de la réalisation du second plot et injecté sous pression au moyen d'une résine acrylique. Les arrêts verticaux entre plots de voile n'ont été équipés que du réseau d'in-

9- Convoi Floatgen dans le port.

10- Entrée du convoi dans la forme-écluse Joubert.

9- Floatgen convoy in the port.

10- Convoi entering the Joubert dry dock/lock.

jection : la mise en tension des câbles de précontrainte permet de refermer l'éventuelle fissure au droit de la reprise de bétonnage.

Afin de valider l'étanchéité des voiles en contact avec l'eau de mer et celle des

cloisons entre cellules étanches, un test d'étanchéité a été réalisé avant mise à l'eau du flotteur. Pour ce faire, les cellules ont été remplies d'eau de mer et un contrôle de l'absence de fuite a été effectué, particulièrement au niveau des zones de faiblesse (reprises de bétonnage et fissures). Des réparations ponctuelles ont été réalisées.

LA MISE EN FLOTTAISON

Avant la mise en flottaison, une majorité des équipements marins ont été installés : bittes d'amarrage fixées au pont du flotteur et nécessaires pour les manœuvres dans le port ; anodes sacrificielles permettant de protéger les armatures de la corrosion ; le Boat Landing (permettant l'accès en phase d'exploitation) ; les fondations de lignes



10

© PHOTOTHÈQUE BOUYGUES TP



d'ancrage ; ou enfin le tube métallique (I-tube) protégeant le départ de l'ombilical d'export de l'électricité. Les parties émergées du flotteur sont également peintes en jaune conformément à la réglementation sur le balisage des structures en mer.

Ces travaux finis, le flotteur béton a été amené dans la forme Joubert pour y être mis en flottaison. Un attinage spécifique de la forme a été réalisé au préalable, avec notamment le remplacement des mises de sapin permettant de corriger certaines imperfections des sous-faces des barges de construction. L'ensemble barges et flotteur y a ensuite été remorqué et positionné à l'aide de deux remorqueurs En Avant 7 et En Avant 9 (figure 9), avec un remorqueur portuaire en assistance. La mise

à sec de la forme a permis d'échouer l'ensemble sur le réseau de tins. Dans un second temps, les barges ont été ballastées puis la forme remise en eau : le flotteur s'est décollé de son support de façon contrôlée, avec un tirant d'eau de 5,8 m conforme aux prévisions. La forme Joubert a ainsi joué le rôle d'ascenseur hydraulique. Finalement, le flotteur a été remorqué et amarré à sa position initiale au quai des Charbonniers pour l'équiper de sa pièce de transition et de son éolienne.

11- Pose de la pièce de transition.

11- Placing the transition part.

Toute l'opération s'est déroulée sur deux jours (figures 10 et 11).

Enfin, après sa mise en flottaison, le flotteur a fait l'objet, comme pour un navire, d'un dernier essai dit d'inclinaison, visant à déterminer précisément son poids ainsi que la position de son centre de gravité. Cet essai consiste à charger le pont du flotteur de 200 t de lests en béton dans différentes configurations et à mesurer le comportement du flotteur (tirant d'eau, inclinaison) au moyen d'un pendule. Les résultats de ces mesures permettent enfin de définir le poids et la position du ballast en béton à mettre en œuvre pour compenser le poids et l'excentrement de l'éolienne, de sorte que l'éolienne armée au port ait une assiette nulle lors de son remorquage en mer. Le flotteur est enfin prêt pour recevoir l'éolienne, prélude à son installation en mer et sa connexion aux lignes d'ancrage et au câble d'export d'électricité... □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ÉOLIENNE : 2 MW (modèle Vestas V80) de 80 m de diamètre

NOMBRE DE LIGNES D'ANCRAGE :

6 lignes composites chaîne / nylon / chaîne

PROFONDEUR D'EAU : 33 m

HAUTEUR MAXIMALE DE HOULE EN PÉRIODE RETOUR 50 ANS : 16 m

OUVRAGE : 2 000 m³ de béton armé

POIDS DU FLOTTEUR ÉQUIPÉ : 5 400 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CHEF DE FILE CONSORTIUM FLOATGEN : Ideol

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Artelia

PARTENAIRE CONSTRUCTEUR : Bouygues Travaux Publics

SITE D'ESSAI EN MER, FOURNITURE DE L'ANCRAGE :

École Centrale de Nantes

ABSTRACT

FLOATGEN - CONSTRUCTION OF THE FIRST OFFSHORE WIND TURBINE IN FRANCE AT SAINT NAZAIRE

NICOLAS JESTIN, BOUYGUES TP - RÉGIS BIGARD, BOUYGUES TP - PERCEVAL MODIANO, BOUYGUES TP

The Floatgen project involves building, installing and testing a 2 MW floating wind turbine demonstrator for two years off the coasts of Le Croisic. The wind turbine's floating foundation is executed using the Damping Pool® technology. Its 36-metre-squared ring shape contains a central aperture which provides optimised stability. It is held in position at sea by a system of six composite anchorage lines, in water 33 metres deep. The float shell is executed in C55 grade self-placing light concrete, reinforced and prestressed. It was built in the port of Saint Nazaire on a floating support consisting of three attached barges, then launched in the Joubert dry dock/lock. □

FLOATGEN - CONSTRUCCIÓN DE LA PRIMERA TURBINA EÓLICA MARINA EN FRANCIA, EN SAINT NAZAIRE

NICOLAS JESTIN, BOUYGUES TP - RÉGIS BIGARD, BOUYGUES TP - PERCEVAL MODIANO, BOUYGUES TP

El proyecto Floatgen consiste en construir, instalar y probar durante dos años frente a las costas de la localidad de Le Croisic una turbina eólica flotante piloto de 2 MW. La cimentación flotante de la turbina se basa en la tecnología Damping Pool®. Su forma de anilla cuadrada de 36 m de lado incluye una apertura central que permite optimizar la estabilidad. Se mantiene en posición sobre el mar mediante un sistema de seis líneas de anclaje de material compuesto, a una profundidad de agua de 33 m. El casco del flotador se ha realizado en hormigón ligero autocompactante de grado C55, armado y pretensado. Se ha realizado en el puerto de Saint Nazaire, sobre un soporte flotante formado por tres barcasas unidas, y seguidamente se ha llevado al mar a través de la esclusa Joubert. □



1

© COMPAGNIE DES PORTS DU MORBIHAN

NOUVELLES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES POUR PORT HALIGUEN-QUIBERON

AUTEUR : PHILIPPE AZZI, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

LE PROJET DE RÉAMÉNAGEMENT DES QUAIS, DES PONTONS ET DES LOCAUX ENGAGÉ PAR LA COMPAGNIE DES PORTS DU MORBIHAN VA PERMETTRE D'AMÉLIORER L'ACCUEIL DES PLAISANCIERS ET L'ACTIVITÉ PÊCHE. LES ACCÈS AU BASSIN VONT ÊTRE ÉLARGIS ET LES ESPACES POUR LES BATEAUX AGRANDIS. L'ATTRACTIVITÉ DU PORT SERA ÉGALEMENT RENFORCÉE PAR LA CRÉATION D'UN BASSIN À FLOT. L'AGRANDISSEMENT DES TERRE-PLEINS S'APPUYANT SUR DE NOUVEAUX QUAIS OPTIMISERA LES ESPACES DE STATIONNEMENT ET OFFRIRA DES ESPACES POUR LES PIÉTONS, LES LOCAUX COMMERCIAUX ET LA CAPITAINERIE.

HISTOIRE DU PORT

Port Haliguen (figure 1) est situé dans la baie de Quiberon, en Bretagne Sud. Depuis l'antiquité, des bateaux y faisaient relâche. Ils y trouvaient protection et les points d'eau nécessaires à leur ravitaillement.

En 1840, le petit port-abri, protégé par une jetée en pierre sèche, est devenu un port d'échouage où se sont développées les activités marchandes et de pêche. Autour du vieux port, un grand port de plaisance a été construit en 1968 et s'est développé jusqu'en 1975 pour accompagner l'essor de la plaisance. Le site originel a gardé tout son

charme. Son phare emblématique a été bâti en 1856 et sa maison de gardiens accueille maintenant des expositions artistiques.

LE PORT FACE À L'AVENIR

L'organisation du port en deux bassins (figure 2), le bassin Est (darse du Porigo) et le bassin Ouest (darse de Castero), de part et d'autre du vieux port historique, doit être reconfigurée pour améliorer sa gestion, renforcer la qualité des services et favoriser l'activité touristique.

Port Haliguen-Quiberon a ainsi souhaité améliorer :

1- Vue aérienne de Port Haliguen-Quiberon.

1- Aerial view of Port-Haliguen-Quiberon.

- La profondeur du port qui limite les possibilités des services portuaires ;
- L'accès et les capacités de stationnement devenus insuffisants ;
- L'accessibilité des commerces ;
- Les équipements à terre et à flot qui deviennent vieillissants.

UN NOUVEAU PROJET

Aujourd'hui, un ambitieux projet de réhabilitation du port (figure 3), mené par la Compagnie des Ports du Morbihan est en marche. Il consiste en :

- Une grande opération de dragage de la darse de Castero (bassin Ouest) puis de la darse du Porigo (bassin Est) ;
- Un réaménagement complet des quais, des pontons et des locaux commerciaux ;
- La création d'un cœur de vie autour du bassin, afin d'améliorer l'accueil des plaisanciers, de valoriser le port et de renforcer son identité ;

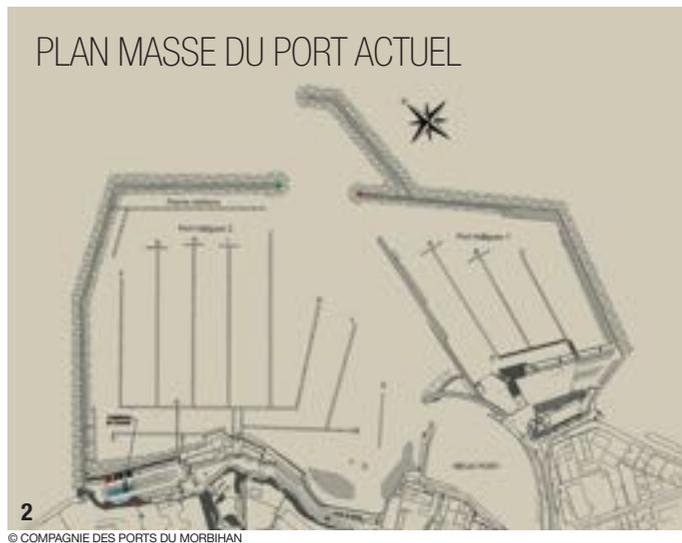
→ Une extension mesurée du nombre de places du port ;

La Compagnie des Ports du Morbihan a ainsi l'objectif de rendre le port plus fonctionnel pour répondre aux attentes de la clientèle actuelle et d'anticiper les besoins à venir.

LA MISE EN ŒUVRE

Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux, en collaboration avec Vinci Construction Maritime et Fluvial et Marc SA, a été retenu pour l'exécution de la partie maritime des nouvelles infrastructures grâce à sa solution variante permettant au maître d'ouvrage de disposer, d'une part, de l'ensemble des pontons plaisance dès l'été 2018, contre l'été 2019 dans la solution de base, profitant ainsi des ressources financières amenées par cette saison supplémentaire et, d'autre part, de disposer d'une zone de refoulement pour les dragages futurs du bassin Est. Les travaux ont débuté en septembre 2017 et font appel à une large panoplie d'activités afin d'aboutir à fin 2019 au réaménagement de la partie maritime du port de plaisance (figure 4).

Les tâches à réaliser par Etmf concernent :



2 © COMPAGNIE DES PORTS DU MORBIHAN

2- Plan masse du port actuel.
3- État futur du réaménagement du port.

2- Layout plan of the current port.

3- Future state of the port after revamping.

- La création de deux épis déflecteurs à l'entrée du port et s'appuyant sur les deux digues existantes ;
- Le dragage des vases de la darse de Castero (Bassin Ouest) ;
- Le recépage des pieux guides existants et non conservés de la darse de Castero ;
- La mise en place de nouveaux pieux guides pour le réagencement des pontons plaisance de la darse de Castero et de la Darse du Porigo ;

→ La construction d'un quai, d'un terre-plein, d'un seuil amovible et d'une digue submersible pour la création d'un bassin à flot incluant le vieux port et le nouveau bassin du Mané (figures 5, 6 et 7) ;

→ La construction de deux quais en avant des berges existantes sur lesquels s'appuieront les extensions de terre-pleins de la darse de Castero (figures 8 et 9) ;

→ La construction d'une grille d'échouage au niveau du môle central.

LE CONTEXTE LOCAL

Pour réaliser les travaux qui lui ont été confiés, Etmf doit tenir compte des impératifs du site :

- Le maintien de l'activité du port durant toute la durée du chantier ;
 - L'arrêt des travaux durant la période estivale juillet-août ;
 - Des conditions météo dans la passe d'entrée du port, zone exposée aux vents et houles d'est, lors des travaux sur les épis ;
 - De la proximité immédiate des habitations, riverains, plaisanciers et ouvrages existants du port ;
 - Des travaux menés en parallèle par l'entreprise chargée des travaux de réagencement des pontons de plaisance ;
 - De l'emplacement et de la nature des ouvrages réseaux qui seront réalisés ultérieurement par la Compagnie des Ports du Morbihan ;
- Ces conditions particulières nécessitent une coordination accrue entre les différents intervenants du projet (voir encadré : Principaux intervenants), avec une attention toute particulière à la co-activité avec la pêche et la plaisance.

LA LOGISTIQUE

L'approvisionnement global du chantier (voir encadré : Principales quantités) par voie maritime ne garantissant pas une maîtrise des délais et des coûts d'exécution, l'approvisionnement par voie terrestre pour partie s'est imposé pour ce projet malgré les difficultés d'accès à la presqu'île de Quiberon, notamment durant la saison touristique.

Le marché prévoit deux itinéraires d'approche finale différents, l'un pour les poids lourds au gabarit routier, l'autre pour les convois exceptionnels.

Ces voies d'accès sont délicates, les trajets cheminent à travers les centres historiques des communes et les zones résidentielles proches du chantier, croisent des monuments historiques particulièrement exposés et surveillés et empruntent des passages étroits. ▷

ÉTAT FUTUR DU RÉAMÉNAGEMENT DU PORT



3



4

© COMPAGNIE DES PORTS DU MORBIHAN

Ils se terminent dans une impasse nécessitant la neutralisation de nombreuses places de stationnement, pourtant précieuses pour l'activité du port, afin de permettre les opérations de déchargement et de retournement. En période de pointe 25 à 30 camions semi-remorque devront pouvoir accéder au site quotidiennement, soit un camion toutes les 20 minutes en moyenne. Afin de limiter les risques d'engorgement au niveau du port, une zone d'attente a été mise en place en amont des approches finales.

BASSIN À FLOTS ET TERRE-PLEIN N°3

Le bassin à flot et le terre-plein n°3 comprennent :

→ La réalisation d'une piste d'accès en matériaux de carrière afin de permettre l'exécution par voie terrestre du mur de quai et des travaux de déroctage. Cette piste est conservée en place après la fin des travaux et intégrée dans le futur terre-plein.

4- Plan masse du projet.

5- Vue de la zone du futur bassin du Mané (bassin à flot).

4- Layout plan of the project.

5- View of the area of the future Mané dock (wet dock).

→ Le déroctage et déblaiement de la zone (figure 5) comprise entre la digue submersible et les futurs quais jusqu'à 0,00 CM au moyen d'une pelle à chenilles de 35 t équipée d'un brise-roche hydraulique. Les matériaux issus de cette opération sont réutilisés comme remblai du terre-plein n°3.

→ La construction d'un rideau mixte autostable ancré dans le substratum rocheux, au moyen d'une

CONCEPTION DES OUVRAGES ET MÉTHODOLOGIES D'EXECUTION

DARSE DU PORIGO

Afin de recevoir de nouveaux pontons de pêche et de plaisance le long de la digue Est et du môle central, 7 pieux de guidage en acier soudé et galvanisé (diamètre 762 mm, épaisseur 19 mm, nuance S420), de longueur variant de 15 à 19 m, sont mis en place par voie maritime à l'aide du ponton Eiffage 19 et de sa grue à chenilles de 50 t. Les pieux sont vibrofoncés puis battus jusqu'au toit du substratum rocheux (granite).

Ils sont ensuite trépanés au moyen d'un trépan *air lift* sur une profondeur de 3 diamètres puis subbattus jusqu'au fond du forage avant d'être obturés en tête.



5

© EIFFAGE



6

grue à chenilles de 130 t équipée d'un mât de forage de 24 m et assistée d'une grue à chenilles de 50 t. Le rideau est composé de pieux en acier soudé spiralé non revêtus (diamètre 863 mm, épaisseur 15 mm, nuance S355) de longueur 9,65 m et de paires de palplanches métalliques type AZ 18-700 de longueur 5,50 m. Les pieux métalliques sont mis en place au moyen de la grue à chenilles de 130 t et d'un marteau fond de trou. Ils sont foncés sur une profondeur de 3 diamètres sous le niveau du toit du subs-

6- Vue d'artiste du futur bassin du Mané (bassin à flot) et sa porte d'entrée.

7- Vue d'artiste du futur vieux port à flot.

6- Artist's view of the future Mané dock (wet dock) and its entry gate.

7- Artist's view of the future old wet port.

stratum rocheux (granite). Cette méthodologie a été retenue par Etmf pour, d'une part, limiter les nuisances vibratoires vis-à-vis des riverains qu'aurait provoqué l'utilisation d'un trépan *air lift* et, d'autre part, garantir une cadence de production suffisante compte tenu de la nature du substratum granitique par rapport à l'utilisation d'une foreuse traditionnelle. Etmf a également décidé d'utiliser la circulation inverse pour rejeter les débris de forage vers le terre-plein arrière, évitant ainsi les nuisances qui auraient pu être causées aux

bateaux de plaisance situés à proximité. Les palplanches sont mises en place par trépidation jusqu'au refus au moyen de la grue à chenilles de 50 t. Cette dernière assure également toutes les phases de travaux préparatoires au forage : mise en place des pieux provisoires et du guide de forage, mise en place des pieux dans le guide de forage, déplacement des équipements de forage d'une position de guide à l'autre.

- La réalisation du quai Nord en double rideau mixte.
- La mise en œuvre d'une poutre magistrale sur le rideau mixte, au niveau +7,00 CM, composée d'éléments préfabriqués en U clavés sur les têtes de pieux au moyen de boulons en béton armé et d'un couonnement en béton armé réalisé in situ afin de lier le réseau de poutres.
- La structure de raccordement sur le quai existant entre le dernier pieu et l'ouvrage en maçonnerie.
- La réalisation d'un batardeau et l'exécution à sec, après pompage, des travaux de génie civil en béton armé pour le seuil amovible.
- La construction (travaux sous-traités) et l'installation par voie terrestre à l'aide d'une grue mobile de 50 t d'une porte basculante permettant de retenir le niveau d'eau à +3,00 CM.



7



- La réalisation de la digue submersible au niveau +3,00 CM entre le seuil mobile et la digue Ouest du vieux port. La structure de cette digue est composée d'un rideau mixte auto-stable ancré dans le substratum rocheux. Ces travaux seront réalisés par voie maritime à l'aide de la barge auto-élévatrice sur laquelle sera embarquée la grue à chenilles de 130 t avec son mât de forage. Les pieux seront réalisés au marteau fond de trou et foncés sur une profondeur de 3 diamètres sous le niveau du toit du substratum. Le ponton Eiffage 19 et sa grue à chenille de 50 t épauleront la barge pour tous les travaux préparatoires.
- La pose des équipements de quai et de l'habillage en bois exotique en parement du rideau mixte jusqu'au niveau +3,00 CM.

TERRE-PLEINS N°2 ET N°1 - QUAI NORD DU BASSIN À FLOT

Les structures des quais mises en place pour les terre-pleins 1 et 2 et pour le quai Nord du bassin à flot sont les suivantes :

- Double rideau de soutènement mixte (pieux acier non revêtu diamètre 863 mm et palplanches AZ 18-700 de longueur variable), permettant le stockage ultérieur, des sédiments à draguer dans le bassin Est ;
- Les pieux sont ancrés de 3 diamètres dans le substratum rocheux granitique ;
- Les palplanches sont battues jusqu'au refus ;
- Chaque rideau mixte est équipé d'une poutre de couronnement

béton armé en tête permettant de faire transiter les efforts en tête de rideau dans la dalle de liaison entre les 2 rideaux.

Les travaux seront exécutés par voies terrestre et maritime. Sur TP2 l'atelier terrestre est composé de la grue à chenilles de 130 t avec son mât de forage et son marteau fond de trou, progressant à l'avancement grâce à un plateau disposé sur la double file de pieux du rideau mixte. Cet équipement comprend également la grue à chenilles de 50 t sur ponton Eiffage 19 pour tous les travaux préparatoires. Les pieux seront approvisionnés par voie maritime grâce à un ponton de servitude. Pour le double rideau de TP1, les travaux des pieux seront réalisés entièrement par voie maritime avec la barge Oléron en raison de l'inaccessibilité de la zone de travail par voie terrestre. Les travaux de génie civil seront effectués en parallèle à l'avancement.

LE DRAGAGE

Le dragage des matériaux meubles concerne le bassin Ouest, la passe d'entrée et l'entrée du bassin Est.

8- Vue d'artiste du futur bassin du Mané (bassin à flot) et des nouveaux terre-pleins.

8- Artist's view of the future Mané dock (wet dock) and the new quayage.

Le dragage sera effectué, jusqu'au niveau 0,00 CM, par pompage hydraulique à l'aide d'une drague portuaire à cutter. Un processus de floculation en ligne sera utilisé pour accélérer la décantation des sédiments meubles lors de leur refoulement dans les 2 extensions de terre-pleins portuaires (TP1 et TP2).

Une géomembrane est mise en place à l'arrière du rideau mixte intérieur et sur la couche de sédiments refoulés afin de les contenir. Une couche de matériau drainant est ensuite mise en place

afin de permettre un traitement dédié des sédiments par drainage vertical et un préchargement permettra, lors de la réalisation de l'extension de terre-pleins, de suivre les tassements jusqu'à leur accomplissement quasi-total dans le délai contractuel.

LES ÉPIS DÉFLECTEURS

Les épis sont de type écran vertical avec une unique file de pieux et habillés d'une paroi opaque en béton préfabriqué et surmonté d'une poutre de couronnement en béton et de leur phare. Ces travaux seront réalisés par voie maritime à l'aide de la barge auto-élévatrice sur laquelle sera embarquée la grue à chenilles de 130 t avec son mât de forage, les pieux seront réalisés au marteau fond de trou et foncés sur une profondeur de 3 diamètres sous le niveau du toit du substratum. Le ponton Eiffage 19 et sa grue à chenille de 50 t épauleront la barge pour tous les travaux préparatoires.

L'épi Ouest sera prolongé d'une dizaine de mètres par une digue à talus en enrochements préalablement démontés sur les ouvrages existants.

DATES IMPORTANTES DU PROJET

NOTIFICATION DU MARCHÉ :	fin juin 2017
INSTALLATIONS DE CHANTIER ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES :	septembre 2017
BASSIN À FLOT ET DU TERRE-PLEIN N°3 :	octobre 2017 - juin 2018
TERRE-PLEIN N°2 (QUAI ET PLATEFORME) :	janvier 2018 - avril 2019
TERRE-PLEIN N°1 (QUAI ET PLATEFORME) :	mars 2018 - novembre 2019
PIEUX NAUTIQUES :	mai - juin 2018
DRAGAGE :	février - octobre 2018
ÉPIS DÉFLECTEURS :	mai 2018 - octobre 2018
REPLI DE CHANTIER :	décembre 2019



LES PIEUX NAUTIQUES

Les pieux de guidage existants qui ne sont pas conservés dans le cadre du réaménagement du port seront récupérés à la côte de dragage par une équipe de scaphandriers assistée du ponton Eiffage SPY 2 et sa grue à chenilles de 90 t.

La mise en place des nouveaux pieux de guidage nécessaires à la mise en place des nouvelles pannes et catways prévus dans le cadre du réaménagement (hors marché) sont en acier galvanisé et seront mis en place par voie maritime à l'aide du ponton Eiffage SPY 2 et sa grue à chenilles de 90 t. Les pieux sont vibrofoncés puis battus jusqu'au toit du substratum. Ils sont ensuite trépanés au moyen d'un trépan *air lift* sur une profondeur de 3 diamètres puis surbattus jusqu'au fond du forage avant d'être obturés en tête.

LA GRILLE D'ÉCHOUAGE

Il s'agit d'un ouvrage béton armé de 11 m de longueur et de 6 m de largeur construit à la marée. Il sera complété

9- Vue d'artiste des nouveaux terre-pleins.

9- Artist's view of the new quayage.

par la pose de défenses en bois pour le front d'accostage et d'appui du grill.

PHASAGE DES TRAVAUX

Le phasage des activités (voir encadré : Dates importantes du projet) est directement dicté par la nécessité de relocaliser les bateaux situés dans la zone des travaux vers de nouvelles zones de mouillage du port, au fur et à mesure de l'avancement du projet. En complément et en cas de besoin, Port Haliguen prévoit, sur la base du volontariat, de relocaliser certains bateaux vers d'autres ports de la Compagnie des Ports du Morbihan (le Croesty, la Trinité, Arzon notamment). Les travaux ont débuté fin septembre 2017 par la réalisation des pieux guides

lément situés à l'emplacement des ouvrages de génie civil du bassin à flot dont la réalisation débutera avant la fin d'année 2017.

Les travaux de mise en place des rideaux mixtes se déroulent d'est en ouest, débutant par le rideau du bassin à flot, se poursuivant avec la réalisation du rideau Nord du bassin à flot puis du rideau du terre-plein n°2 et enfin par le rideau du terre-plein n°1.

La mise en place des sédiments issus du dragage sera réalisée après l'achèvement des poutres et dalles du quai des terre-pleins n°2 puis n°1.

Les épis déflecteurs seront réalisés à la fin du printemps 2018 où les conditions météo seront les plus favorables pour travailler dans la passe d'entrée du port.

L'activité pieux nautiques se déroulera quant à elle en parallèle du démontage des pannes du bassin Ouest (darse de Castero) afin de permettre la réinstallation rapide des pannes selon le nouveau plan masse. □

des nouveaux pontons du bassin Est (darse du Porigo) situés le long de la digue Est (digue de la Baie) et du môle central. Ils permettront la relocalisation fin octobre 2017 des bateaux actuel-

PRINCIPALES QUANTITÉS

PIEUX : 2 200 t
PALPLANCHES : 550 t
BÉTON : 3 800 m³
ACIERS POUR BÉTON : 450 t
BARDAGE BOIS EXOTIQUE : 3 200 m²
ENROCHEMENTS ET MATÉRIAUX DE CARRIÈRE : 22 000 t
DÉROCTAGE : 6 000 m³
DRAGAGE : 55 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Compagnie des Ports du Morbihan
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingerop / Idra
ENTREPRISES : Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux (Mandataire), Vinci Construction Maritime et Fluvial, Marc SA

ABSTRACT

NEW PORT INFRASTRUCTURE FOR PORT-HALIGUEN-QUIBERON

PHILIPPE AZZI, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

Since the start of September 2017, Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux has been carrying out work for renovation of the port infrastructure of Port-Haliguen-Quiberon departmental port, a very popular pleasure boating location near the islands of Belle-Île, Houat and Hoëdic. The work consists of dock dredging, rearrangement of the guide piles, renovation of the pontoons, rock excavation, installation of a weir gate, construction of a submersible breakwater and a new quay, and the creation of a wet dock offering new boat berthing capacity. At the same time, the construction of new quay walls in front of the present banks will make it possible to increase the size of the quayage. □

NUEVAS INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS PARA PORT-HALIGUEN-QUIBERON

PHILIPPE AZZI, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux realiza desde comienzos de 2017 las obras de rehabilitación de las infraestructuras portuarias del departamento francés de Port-Haliguen-Quiberon, puerto deportivo muy frecuentado cercano a las islas de Belle-Île, Houat y Hoëdic. Las obras incluyen el dragado de la dársena, la reordenación de los pilotes-guía, la rehabilitación de los embarcaderos, la descamación, la instalación de una puerta, la construcción de un dique sumergible y de un nuevo muelle, la creación de una dársena flotante con capacidad adicional de acogida de barcos. Paralelamente, la realización de nuevos muros de muelle por delante de los diques actuales permitirá aumentar el tamaño de los terraplenes. □



1

© ETMF

RÉHABILITATION DE LA JETÉE NORD-EST ET DU QUAI DE PILOTAGE DU PORT DE BOULOGNE-SUR-MER

AUTEURS : PHILIPPE DESHAIES, INGÉNIEUR STRUCTURE, GÉRANT, APX - CARIM RIBREAU, CONDUCTEUR TRAVAUX, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX - BERTRAND HAENTJENS, DIRECTEUR, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX NORD

LA RECONSTRUCTION DU QUAI DE PILOTAGE ET DE CONFORTEMENT DE LA JETÉE NORD-EST DU PORT DE BOULOGNE-SUR-MER S'INSCRIT DANS LE CONTEXTE GLOBAL DE REFONTE DU PORT. CELA A COMMENCÉ PAR LA RECONSTRUCTION DU QUAI DES PAQUEBOTS RÉALISÉE ENTRE 2014 ET 2016, PUIS LA DÉMOLITION ET LA RECONSTRUCTION DU QUAI DE PILOTAGE AU DROIT DE NAUSICAA ET LA STABILISATION DES FONDATIONS DE LA JETÉE NORD-EST À LA SORTIE DU PORT RÉALISÉES ENTRE NOVEMBRE 2016 ET NOVEMBRE 2017. UNE TROISIÈME OPÉRATION, CONSISTANT À DÉMOLIR ET À RECONSTRUIRE L'ESTACADE DE LA JETÉE NORD-EST, EN COURS DE CONSULTATION, VIENDRA TERMINER LE PROJET.

CONTEXTE DU CHANTIER

La jetée Nord-Est et le quai de Pilotage sont situés à l'entrée du port intérieur et à proximité de la plage. Lieux de promenade très prisés, ils servent surtout de délimitation et de soutènement entre le chenal qui permet d'accéder au port intérieur et à la plage, tout en permettant l'accès au feu de balisage pour les opérations de maintenance.

Le quai de Pilotage assure également un accès piéton et routier aux locaux du bâtiment de Nausicaa et offre une zone de stationnement pour les activités touristiques.

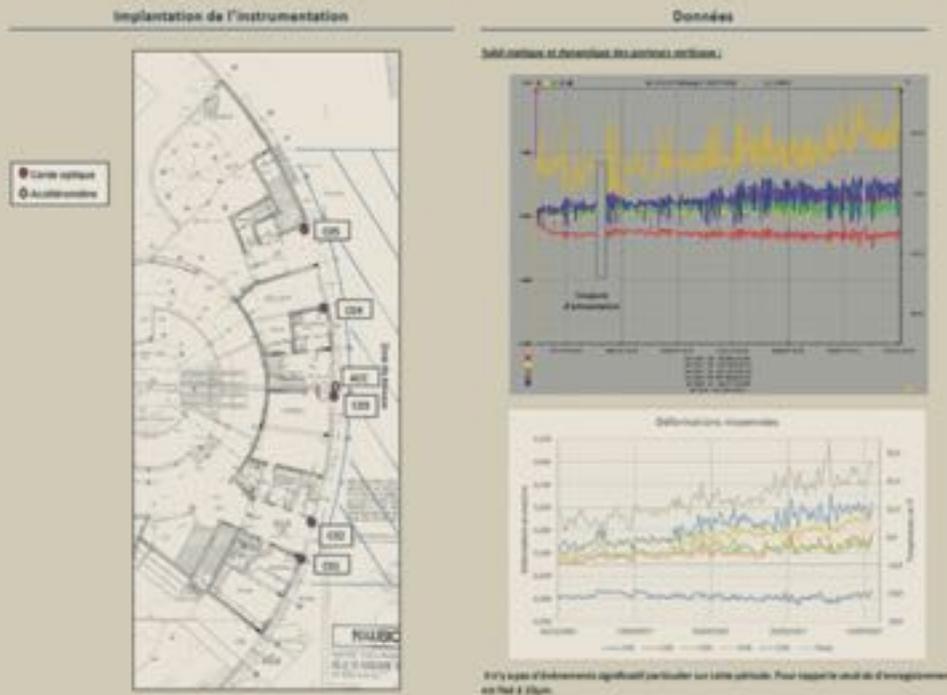
En 1984 sont apparus d'importants désordres le long de la jetée Nord-Est, avec le glissement plan du mur poids sur sa base. L'ouvrage n'a jamais été complètement stabilisé depuis, de nou-

1- Pose des éléments préfabriqués.

1- Placing prefabricated elements.

veaux mouvements ayant été détectés récemment. Les structures en béton armé du quai de Pilotage et du tillac de la jetée présentent également des dégradations importantes (éclatement du béton, aciers apparents, etc.) qui remettent en cause à plus ou moins long terme leur capacité portante et par suite leur usage comme accès piéton et routier pour le quai de Pilotage.

PLAN D'IMPLANTATION DES CAPTEURS - SUIVI DES MESURES



2- Plan d'implantation des capteurs - suivi des mesures.

3- Modélisation numérique du quai de pilotage.

4- Extrait du plan d'implantation de chantier.

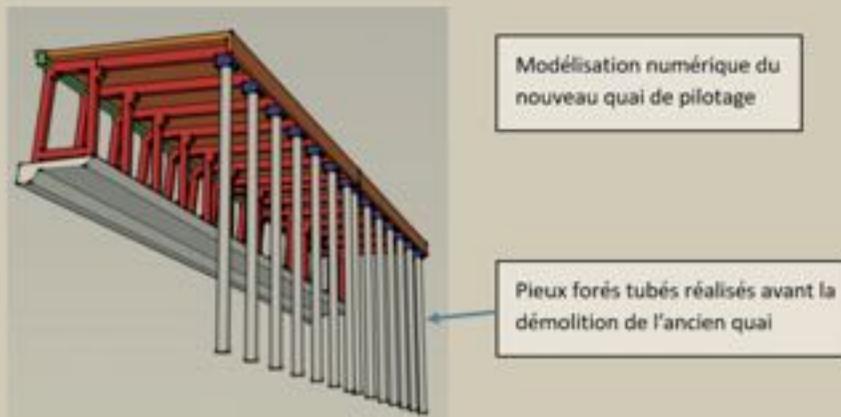
2- Sensor layout drawing - measurement monitoring.

3- Digital modelling of the piloting quay.

4- Excerpt from the site layout drawing.

L'opération concerne la réhabilitation de la fondation de la jetée Nord-Est (hors superstructure) et la réhabilitation de l'ensemble du quai de Pilotage.

MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU QUAÏ DE PILOTAGE



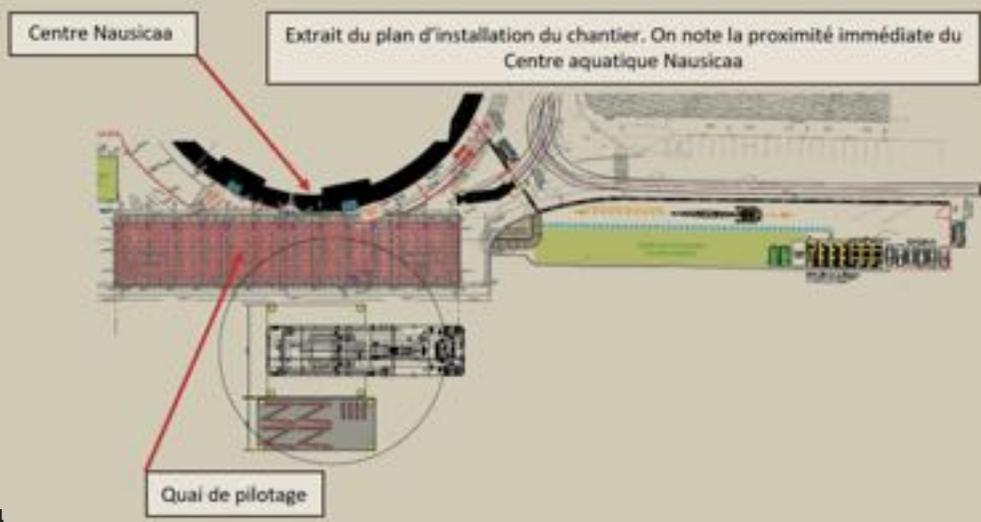
FONCTION DES OUVRAGES

La jetée Nord-Est et le quai de Pilotage ont deux fonctions principales :

- Ils assurent un rôle de soutènement des terrains situés au nord du chenal (plage) et à l'arrière du quai de Pilotage. Ils participent ainsi à la délimitation de ce chenal et à l'intégrité du bâtiment de Nausicaa ;
- Ils permettent l'accès au feu de balisage du chenal 24h/24h pour les opérations de maintenance par les services de l'État.

La jetée Nord-Est supporte également des équipements d'éclairage du chenal. En outre, le quai de Pilotage assure un accès piéton et routier à la jetée, aux commerces de la plage et locaux du bâtiment de Nausicaa (notamment pour les secours). Il offre un espace de stationnement pour les activités touristiques.

EXTRAIT DU PLAN D'IMPLANTATION DE CHANTIER



CONSTITUTION DES OUVRAGES ACTUELS

Le quai de Pilotage est fondé de la même manière que la jetée :

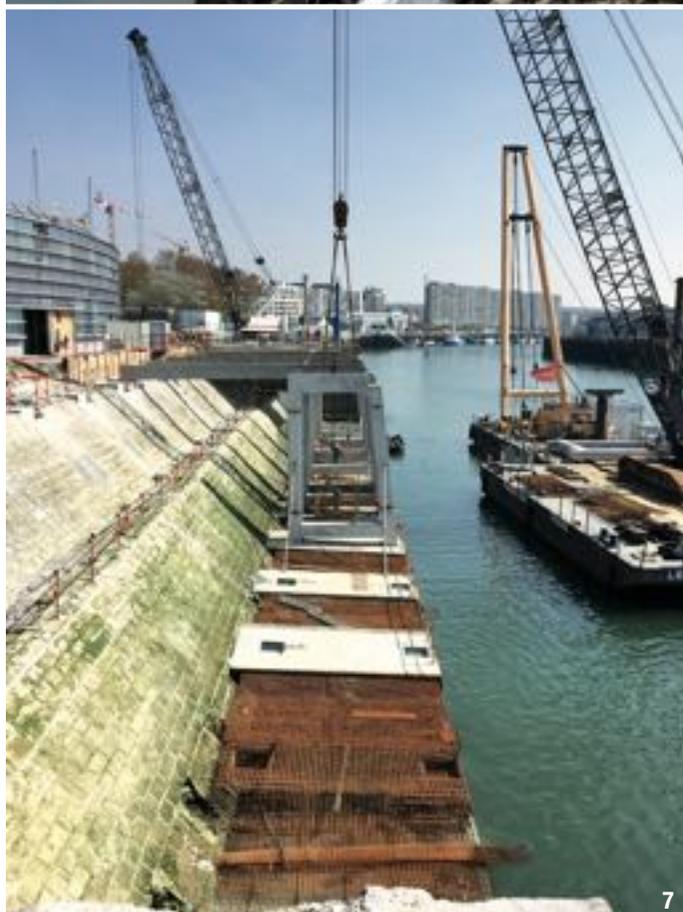
- 1- Une fondation de caissons en acier, remplis de béton, mis en place par havage ;
- 2- Un mur poids en maçonnerie à l'extérieur et en béton cyclopéen à l'intérieur. Le mur en maçonnerie, plus petit, est surmonté d'un apponnement en béton armé ;
- 3- Un perré en maçonnerie qui assure le soutènement du terre-plein arrière en partie haute.



5



6



7



8

La jetée Nord-Est est un ouvrage de soutènement de type mur poids composé :

- 1- d'une fondation de caissons en acier, remplis de béton, mis en place par havage ;
- 2- d'un mur poids en maçonnerie et béton cyclopéen ;
- 3- d'une structure en béton armé qui permet l'accès piéton jusqu'au musoir.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Données disponibles

Plusieurs reconnaissances géotechniques ont été effectuées depuis le glissement de l'ouvrage repéré en 1984. Des investigations ont également été

réalisées le long du quai des paquebots fin 2009, dans le cadre d'un projet de réparation de ce dernier.

LES DIFFÉRENTES COUCHES DE SOL

Le sous-sol est constitué, au-delà du sable de plage, par les formations du Kimméridgien constitué :

- Des Calcaires du Moulin Wibert (présentant un faciès marno-calcaire) ;
- Des Sables de Conninchtun (sables gris plus ou moins coquilliers avec passes argileuses) ;
- Des Argiles Marneuses du Moulin Wibert (marnes avec bancs calcaires et passage de sables marneux).

5- Démolition du quai de Pilotage.

6- Transport des fermes.

7- Pose des fermes.

8- Ferrailage de la dalle du quai.

5- Demolition of the piloting quay.

6- Transporting trusses.

7- Placing trusses.

8- Reinforcing bars for the quay slab.

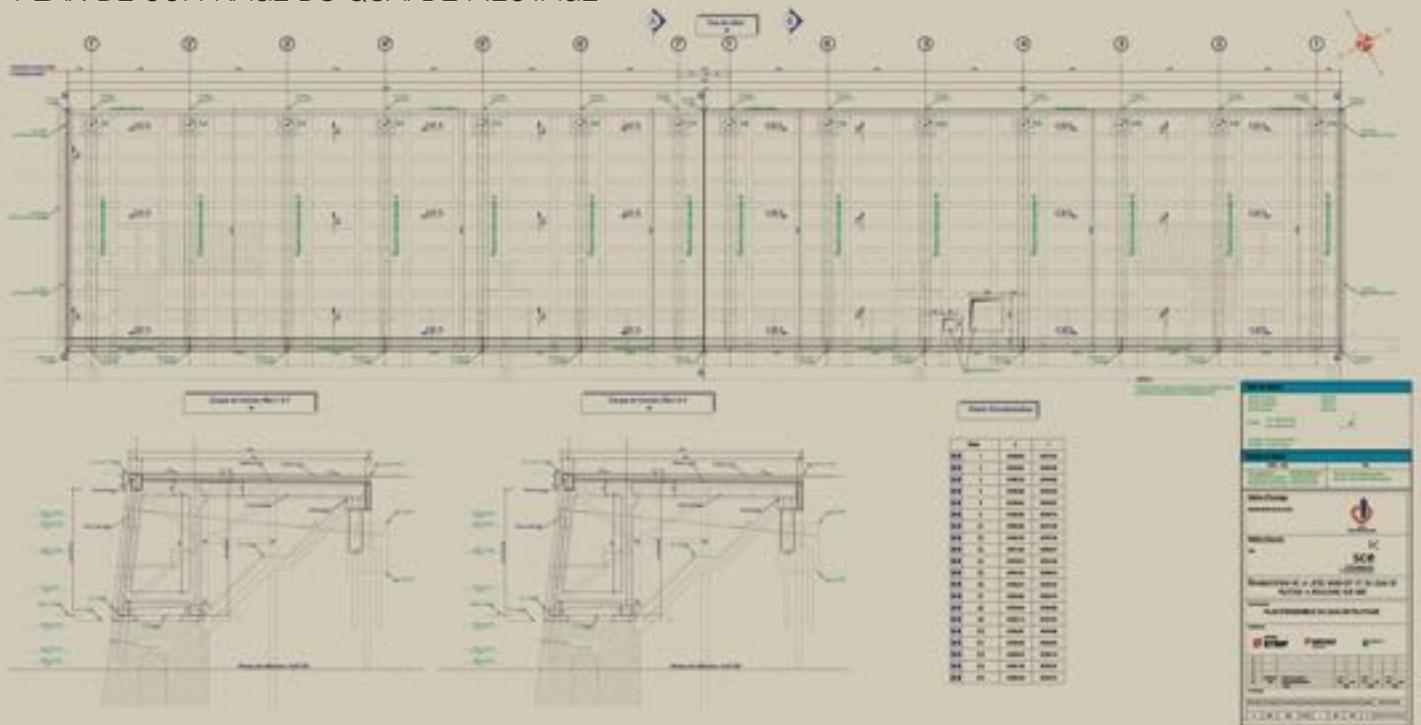
Le niveau de transition entre les Sables de Conninchtun et les Argiles du Moulin Wibert est peu homogène le long de la jetée. Les sondages indiquent par contre que les Argiles sont toujours présentes en sous-face du caisson métallique.

L'horizon calcaire sous-jacent est rencontré à une très grande profondeur (entre -27,30 CM au niveau du quai de pilotage et -31 CM au milieu de la jetée) et n'entre donc pas en compte dans les dimensionnements des ouvrages.

POINTS SUR LES ÉTUDES TECHNIQUES - VARIANTES

L'enjeu technique du chantier est lié en particulier au renforcement de l'en-

PLAN DE COFFRAGE DU QUAI DE PILOTAGE



9

© VALETUDES

semble de l'ouvrage, jetée et quai de Pilotage.

Outre les travaux de réalisation du quai de Pilotage avec des problématiques de travaux à la marée, le chantier se caractérise par une préfabrication lourde et imposante géométriquement, le tout dans un environnement contraint en termes d'accès.

Le renforcement de la jetée et du quai de Pilotage a donc été optimisé par renforcement de la butée du sol à l'avant des caissons, le tout en adaptant la conception de base du renforcement en réalisant des calculs complets d'interaction sol/structure.

PRINCIPAUX TRAVAUX RÉALISÉS DANS LE CADRE DU CHANTIER

Objectif : Reconstruire un nouveau quai de Pilotage sur les emprises de l'existant. Dimension du quai : 80 m de long par 16 m de large.

CONTRAINTES PARTICULIÈRES AU QUAI DE PILOTAGE

Les travaux de déconstruction et reconstruction du quai de Pilotage sont situés à proximité immédiate des bassins du Centre de la Mer Nausicaa. Ces grands bassins remplis d'eau et dont certains ont des parois vitrées sont très sensibles aux vibrations, tout comme leurs occupants.

Le chantier a mis en place un suivi très précis des vibrations à l'aide de corde optique et d'accéléromètre associé à des moyens matériels spécifiques pour limiter les vibrations dans les bassins du centre aquatique spécifiquement

9- Plan de coffrage du quai de Pilotage.

10- Coupe du renforcement de la jetée Nord.

9- Formwork plan for the piloting quay.

10- Cross section of northern jetty consolidation.

lors de la mise en oeuvre des tubes métalliques servant de tubage pour les pieux forés (figure 2). La distance est de 2,5 m entre les fondations du quai et les fondations des bassins.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX SUR LE QUAI DE PILOTAGE

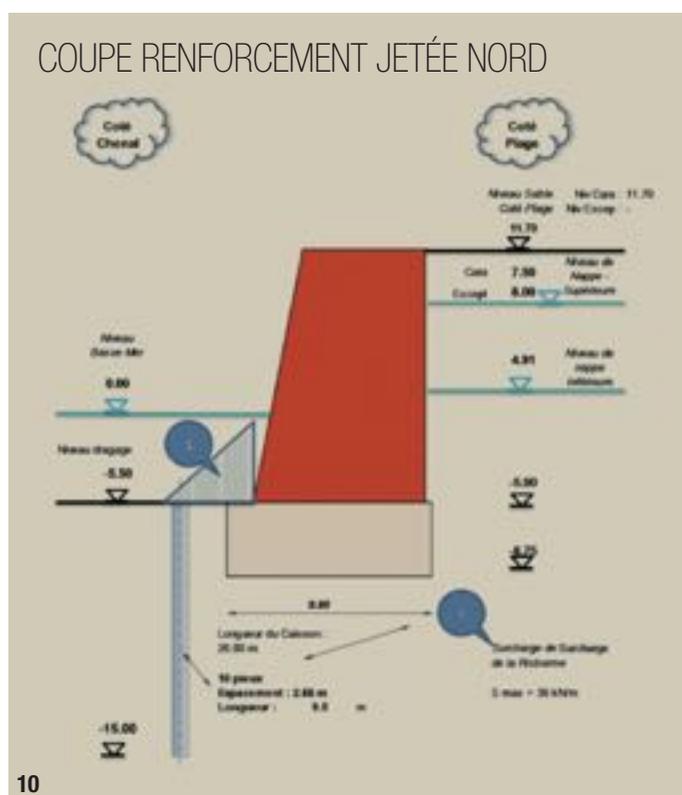
La structure du nouveau quai comme indiquée sur la modélisation (figure 3) est fondée entre autre sur une ligne

de pieux forés tubés en file arrière. Pour des questions d'emprise au sol très contraignantes (figure 4), les pieux étant en limite des fondations du centre de la mer Nausicaa, ils ont été réalisés avant la démolition du quai existant qui a servi de plateforme de travail. Ce phasage a nécessité d'employer un carottier sur la foreuse pour passer les premières couches qui étaient en béton et en maçonnerie afin de limiter au maximum les vibrations. Le phasage des travaux a été le suivant :

→ Déconstruction du quai existant jusqu'aux fondations à la cote +3,50 CM (figure 5) :

- Phase 1 : Décaissement du quai (remblai de chaussée) pour alléger la structure et permettre la circulation des engins en sécurité,
- Phase 2 : Réalisation des pieux de fondation de la file arrière du quai (14 u) à proximité immédiate du Centre de la Mer Nausicaa,
- Phase 3 : Démolition du quai par voie terrestre depuis le dessus du mur poids.

→ Réalisation d'un radier en béton armé avec réservations pour recevoir les fermes préfabriquées. Travaux réalisés à la cote +3 CM donc à la marée. La particularité dans la réalisation du radier tient dans son phasage. Le radier est réalisé par plot de 3 m de large soit 21 m³ de béton armé en intégrant des réservations pour pouvoir sceller les fermes préfabriquées constituant l'ossature principale du quai.



10

© APX

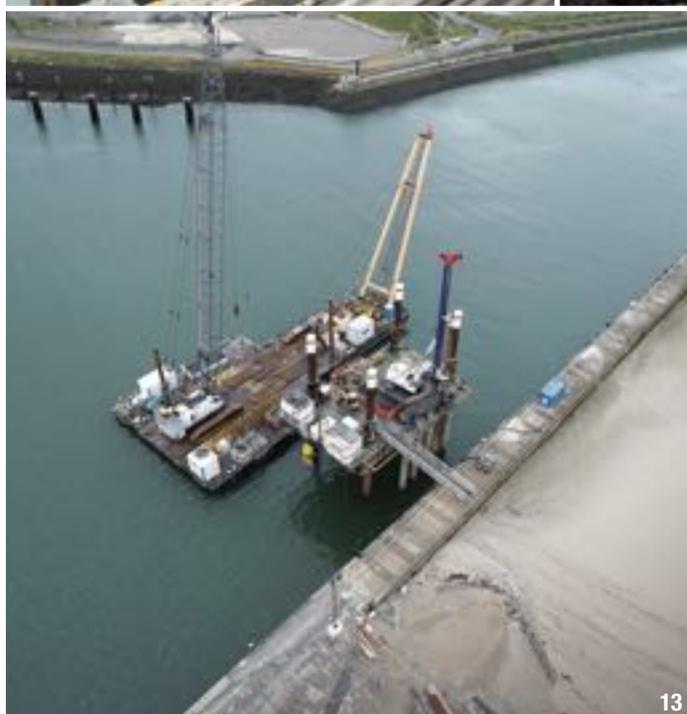


11



12

© ETMF



13

© ETMF

11- Curage des pieux à la benne.
12- Forage au Kelly.
13- Atelier de réalisation des pieux.

11- Pile cleaning by grab.
12- Kelly drilling.
13- Piling rig.

- Préfabrication des fermes de 22 t sur le quai de l'Europe, transport et pose par voie nautique (figure 6).
- Pose des fermes préfabriquées à marée basse. Ces fermes ont

été conçues pour être autostables dans les réservations du radier. Un étaieement a été mis en place par mesure de précaution et pour affiner le calage avant et pendant le scellement au mortier sans retrait (figure 7).

- Pose des éléments préfabriqués supérieurs donc sans contrainte de marée (poutres + mur garde grève + poutre de couronnement + dalle 20 cm) (figure 1).
- réalisation du tablier :
 - Phase 1 : Ferrailage (figure 8),
 - Phase 2 : Coffrage (figure 9),
 - Phase 3 : Bétonnage.

JETÉE NORD-EST ET QUAI DE PILOTAGE (410 M)

Objectif : stopper le glissement de l'ouvrage vers l'ouest.

La jetée Nord-Est et le quai de Pilotage reposent sur des caissons métalliques qui ont été mis en place par havage jusqu'aux marnes comme indiqué sur le plan de principe de la solution initialement prévue (figure 10).

PHASAGE DU CHANTIER DE PIEUX

Réalisation du clouage des fondations de la jetée Nord-Est et du quai de Pilotage par la mise en place de 120 pieux forés tubés à partir d'une plateforme autoélévatrice.

Sur ce chantier deux techniques ont été mises successivement en œuvre, la première ne donnant pas les rendements escomptés du fait de la présence de bancs rocheux :

- 1^{re} technique - pieux curés à la benne preneuse :
 - Fichage des tubes métalliques,
 - Terrassement à l'intérieur des tubes à l'aide d'une benne preneuse (figure 11),
 - Mise en place des cages d'armatures,
 - Bétonnage du pieu.

MOYENS HUMAIN

QUAI DE PILOTAGE :

- 1 Conducteur de Travaux Etmf
- 1 Chef de Chantier Egc
- 2 Chefs d'équipe
- 12 ouvriers dont 2 grutiers

PIEUX DE LA JETÉE :

- 1 conducteur de Travaux Etmf et Botte Fondation
- 1 chef de chantier Etmf et Botte Fondation
- 6 ouvriers dont 2 grutiers

MOYENS MATÉRIELS

- Ponton VP 700 45x21 m avec grue treillis de 170 t
- Ponton SPY III 30x12 m avec grue treillis de 80 t
- Plateforme auto élévatrice Breizh Izel de 21x12 m pour le forage des pieux
- Un Ponton de servitude de 12x6 m
- Grues Treillis de 90 t et de 50 t pour la préfabrication et le génie civil du quai.
- 2 remorqueurs maritimes



© ETMF
14

- 2^e technique - pieu à la foreuse à la benne Kelly :
- Fichage des pieux métalliques,
 - Forage à l'intérieur des tubes au Kelly (figures 12 et 13),
 - Mise en place des cages d'armatures,
 - Bétonnage du pieu.

Dans les deux cas la grue et la foreuse sont positionnées sur la plateforme autoélévatrice Breizh Izel pour s'affranchir des marées et assurer une stabilité suffisante aux engins de forage.

La mise en place des cages d'armatures et le bétonnage sont réalisés depuis le ponton VP 700 et la Grue Kobelco 7150 de 170 t de capacité (figure 14). Le bétonnage des pieux est effectué par l'intermédiaire de tubes plongeurs alimentés en béton par une pompe positionnée en début de jetée sur le terre-plein, soit sur une distance maximale de 350 m.

Le chantier comprenait également la reprise des maçonneries dégradées et le rejointoiement du parement Ouest de la jetée.

14- Nettoyage des joints de la jetée.

15- Reprise des joints de la jetée.

14- Cleaning the jetty joints.

15- Repairing the jetty joints.

LES TRAVAUX ONT CONSISTÉ EN :

La dépose et repose de la maçonnerie extérieure sur les zones dégradées, soit 80 m². Les pierres du parement qui étaient à enlever puis à remplacer se situaient entre les cotes +0 CM et +2 CM, les travaux ont été réalisés en fonction des marées.

La reprise de 6 000 m² de joints de maçonnerie. Ces travaux ont également été effectués en fonction des marées depuis le haut de la jetée par l'intervention d'une équipe de cordistes (figure 15). □



15

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉMOLITION DU QUAI DE PILOTAGE EXISTANT :
1 000 m³ de béton armé

RÉALISATION DU RADIER EN BÉTON ARMÉ :
400 m³ de béton + 40 t d'armatures

PRÉFABRICATION : 455 m³ de béton + 100 t d'armatures

DALLE BA : 255 m³ de béton + 30 t d'armatures

REJOINTOIEMENT DE LA JETÉE NORD : 6 000 m²

PIEUX DE STABILISATION DE LA JETÉE :
120 pieux diamètre 800 mm longueur 10 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région des Hauts de France - Direction des Ports et du Littoral - Direction Déléguée d'Exploitation du Port de Boulogne-sur-Mer - Service ingénierie de la région Hauts de France

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sce, Nantes

GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DES TRAVAUX : Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux (mandataire) - Eiffage Génie Civil Nord

SOUS-TRAITANT FONDATION :

- Études : Apx
- Démolition : Société Renard
- Fondations : Botte Fondations
- Rejointoiement : Ac2m
- Suivi des ouvrages : Osmos

ABSTRACT

RENOVATION OF THE NORTHEAST JETTY AND THE PILOTING QUAY OF THE PORT OF BOULOGNE-SUR-MER

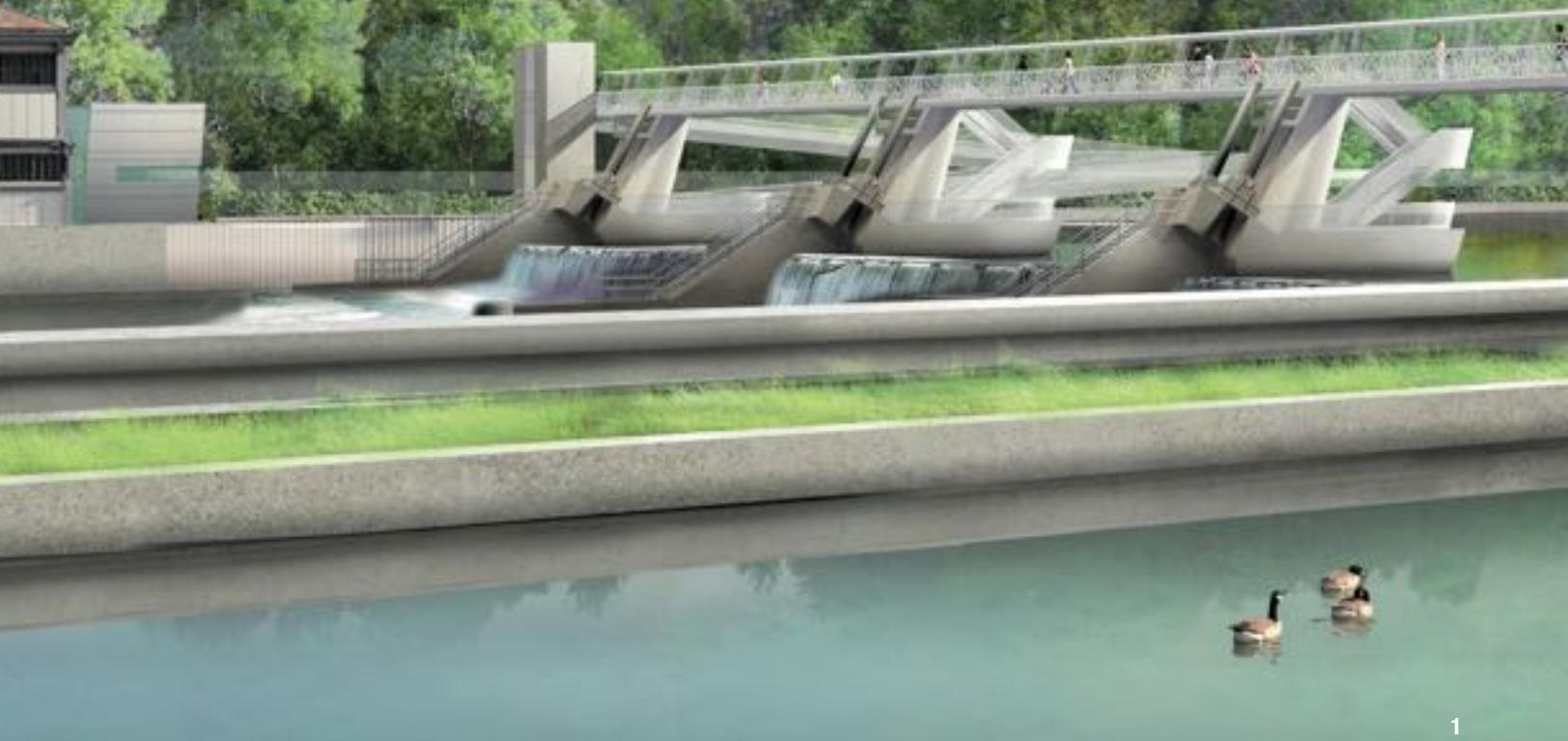
PHILIPPE DESHAIES, APX - CARIM RIBREAU, EIFFAGE - BERTRAND HAENTJENS, EIFFAGE

In a consortium with Eiffage Génie Civil Nord, Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux (ETMF) is performing deconstruction and reconstruction work on the piloting quay. In a very confined location, the works were largely performed from boats, including procurement of the prefabricated members. The trusses of the quay's loadbearing structure, weighing more than 20 tonnes and of dimensions unsuitable for road transport, were prefabricated on the Europe quay on the western side of Boulogne-sur-Mer Port. In parallel, ETMF with its subcontractor Botte Fondations performed consolidation of the foundations of the northeast jetty formed of channelled steel caissons, by placing 120 tubed, bored piles in position on the western side of the caissons to stop them from slipping toward the port channel. □

REHABILITACIÓN DEL ESPIGÓN NORESTE Y DEL MUELLE DE ACCESO DEL PUERTO DE BOULOGNE-SUR-MER

PHILIPPE DESHAIES, APX - CARIM RIBREAU, EIFFAGE - BERTRAND HAENTJENS, EIFFAGE

Eiffage Travaux Maritimes y Fluviaux realizan en consorcio con Eiffage Génie Civil Nord las obras de deconstrucción y reconstrucción del muelle de acceso. En un emplazamiento muy exiguo, las obras se han realizado en gran parte por vía náutica, incluido el abastecimiento de los elementos prefabricados. Las cerchas de la estructura portante del muelle, de más de 20 t y cuyas dimensiones no permiten un transporte por carretera, se han prefabricado en el muelle de Europa, en el lado oeste del puerto de Boulogne-sur-Mer. En paralelo, Etmf y su contratista Botte Fondations han realizado la consolidación del espigón noreste, formado por cajones metálicos en tramos, la instalación de 120 pilotes perforados y entubados, y del lado oeste por cajones para impedir su deslizamiento hacia el canal del puerto. □



1
© LWA

RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VIVES EAUX SUR LA SEINE

AUTEUR : CÉLINE FOUCAULT, DIRECTRICE DE PROJET, ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT

LE BARRAGE DE VIVES EAUX EST SITUÉ SUR LA SEINE EN AMONT DE PARIS, À PROXIMITÉ DE MELUN ENTRE LE BARRAGE DE LA CAVE ET LE BARRAGE DE COUDRAY MONTCEAUX. CET OUVRAGE ASSURE UNE CHUTE D'EAU DE 2,7 m NÉCESSAIRE À LA NAVIGATION SUR LES BIEFS AMONT ET AVAL ET IL S'EFFACE EN CRUE. LES TRAVAUX DE RECONSTRUCTION SE SONT DÉROULÉS SUR 4 ANNÉES, SANS INTERRUPTION DE LA NAVIGATION SUR LA SEINE AMONT, AVEC TROIS SAISONS ESTIVALES DE TRAVAUX DANS LE LIT DE LA SEINE.

Construit en 1928, l'ouvrage actuel (figure 2) est constitué de deux passes équipées de hausses Aubert qui s'effacent en cas de crue et d'une passerelle d'exploitation. Il est associé à deux écluses en rive gauche : une écluse dite « grande écluse » en exploitation et une « petite écluse » actuellement hors service. Face au vieillissement de l'ouvrage et aux difficultés de manœuvre, Voies Navigables de France a fait le choix de sa reconstruction. Le projet de reconstruction du barrage (figures 1 et 3), en amont du barrage existant concerne la réalisation :

- D'un nouveau barrage constitué de trois passes chacune équipée d'un clapet manœuvré par deux vérins et géré par un automate de conduite ;



2
© ARTELIA

- D'une passe à poissons ;
- D'un nouveau local commande du barrage et des deux écluses ;
- D'un local technique pour la seconde centrale hydraulique ;
- D'une passerelle de franchissement de la Seine ouverte au public et permettant pour l'exploitant l'accès à chacune des piles du barrage, au local commande et aux bajoyers ;
- Le prolongement du bajoyer de la grande écluse par une estacade ;
- La démolition du barrage existant et la réalisation d'aménagements paysagers.

Vnf, maître d'ouvrage, a attribué les travaux en octobre 2013 au groupeement d'entreprise Emcc - Demathieu Bard - Gtm Tp - Ducrocq et Roubly



Industrie. La maîtrise d'œuvre est assurée par le groupement Artelia Eau & Environnement et Luc Weizmann Architectes.

LE BATARDAGE

La réalisation des travaux a nécessité la mise à sec d'une partie de la Seine pour la réalisation du radier en béton, des piles et la mise en place des clapets ainsi que pour la réalisation de

- 1- Perspective du barrage.
- 2- Barrage existant.
- 3- Situation des aménagements.

- 1- Perspective view of the dam.
- 2- Existing dam.
- 3- Project location.

la passe à poissons en rive gauche. Les travaux en eau ont ainsi été planifiés sur trois saisons estivales, du 1^{er} mai au 31 octobre, pendant lesquels un tiers de la largeur hydraulique de la Seine a été coupée et où les travaux se sont déroulés à l'abri d'une enceinte étanche.

La conception du batardeau a dû répondre à trois forts enjeux techniques :

- Assurer la reprise d'une charge d'eau de près de huit mètres : le niveau de la Seine étant celui du bief amont à 38,68 m NGF et le niveau du fond de fouille à 30,94 m NGF ;
- Être effaçable au-delà de la crue de chantier de 830 m³/s pour laisser libre toute la section hydraulique de la Seine ;
- Être compatible avec la fondation en calcaire de Champigny dont les pressions limites sont localement supérieures à 5 MPa rendant impossible le battage de palplanches.

Il n'était par ailleurs pas envisageable de dévier une partie du débit de la Seine compte tenu de l'urbanisation des berges en rive droite et en rive gauche.

La solution retenue repose sur la réalisation d'un caisson étanche constitué de palplanches simplement « posées » en fond de Seine dans une souille de 1 m de profondeur et remplie de béton. Ces palplanches sont retenues par deux niveaux de liernes fixées à des pieux forés espacés de 6 m.

Un niveau de butons en tête permet de reprendre les efforts de poussée (figure 4).

Les principales caractéristiques du batardeau sont les suivantes :

- Pieux de diamètre 406 mm, d'épaisseur 22 mm, espacés de 6 m, forés à la cote 26,40 m NGF ;
- 2 niveaux de lierne HEB 650 : un premier niveau à la cote 31,10 m NGF en fond de fouille et second niveau à la cote 39,40 m NGF ;

SITUATION DES AMÉNAGEMENTS





4



5

© ARTELIA

→ Palplanches de type PU28 calées à la cote 31 m NGF dans une assise béton et arasées à la cote 39,90 m NGF, reposant sur les deux niveaux de liernes ;

→ Butons de diamètre 711 mm et d'épaisseur 12,7 mm espacés tous les 7 m et calés à la cote 39,40 m NGF sur le niveau de lierne supérieur.

Un rideau d'injection a été réalisé en pied de palplanches côté amont sur tout le pourtour du batardeau pour assurer l'étanchéité de l'enceinte.

Les sous-pressions sous le radier ont été rabattues à l'aide de puits de décompression : 3 lignes de 4 forages ont été réalisées jusqu'à 15 m sous la fondation et équipées de dispositifs de pompage.

Le calendrier des travaux a été organisé autour des contraintes de batardage en saison estivale :

→ **Phase 1** : Passe rive gauche, d'avril à novembre 2014 ;

→ **Phase 2** : Passe à poissons de novembre 2014 à octobre 2015 ;

→ **Phase 3** : Passe rive droite de février au 22 octobre 2015 ;

→ **Phase 4** : Bâtiment de commande, de septembre 2015 à juin 2017 ;

→ **Phase 5** : Passe centrale d'avril 2016 au 28 septembre 2016 ;

→ **Phase 6** : Aménagements en rive droite d'octobre à décembre 2015 ;

→ **Phase 7** : Estacade, rampe d'accès et pose de la passerelle : de octobre 2015 à mars 2017 ;

→ **Phase 8** : Démolition du barrage existant : de novembre 2017 à mars 2018.

La première phase batardée a nécessité le confortement du bajoyer de la grande écluse qui la sépare de la Seine. La mise à sec du batardeau a eu, en effet, pour conséquence une modifica-

tion majeure des efforts sur ce bajoyer avec la suppression des efforts de poussée de l'eau côté Seine.

Ce bajoyer est constitué d'une structure en béton armé de 2,2 m de large fondée sur du béton de masse et renforcée par des tirants précontraints disposés côté Seine tous les 4 m.

Le confortement a été réalisé avant la réalisation du batardeau et a consisté en la mise en œuvre de 2 lignes de micropieux disposés en quinconce, espacés de 1,5 m et ancrés de 12 m dans la fondation calcaire.

Ces travaux ont été réalisés sans interrompre l'exploitation de l'écluse. La mise en œuvre des batardeaux et la

4- Batardeau de la passe rive gauche.

5- Radier et paliers d'articulation du clapet.

6- Piles et passerelle.

4- Lock gate of the left-bank fishway.

5- Foundation raft and check-valve linking bearings.

6- Piers and foot bridge.

gestion des infiltrations ont constitué les étapes clés du déroulement des travaux et du respect du planning. En 2014, la mise à sec de l'enceinte n'a pu être réalisée que le 10 août nécessitant une accélération de chantier pour réaliser le radier, les deux piles du barrage et la mise en œuvre du clapet avant d'aras-

ser le batardeau. En 2015 le retour d'expérience de la première passe a permis de mettre à sec le batardeau un mois plus tôt. En 2016, une importante crue de la Seine s'est produite en mai avec un débit atteignant 1200 m³/s, qui a inondé totalement le chantier. L'enceinte a été mise à sec fin juillet.



6

© ARTELIA

LES INSTALLATIONS DE CHANTIER

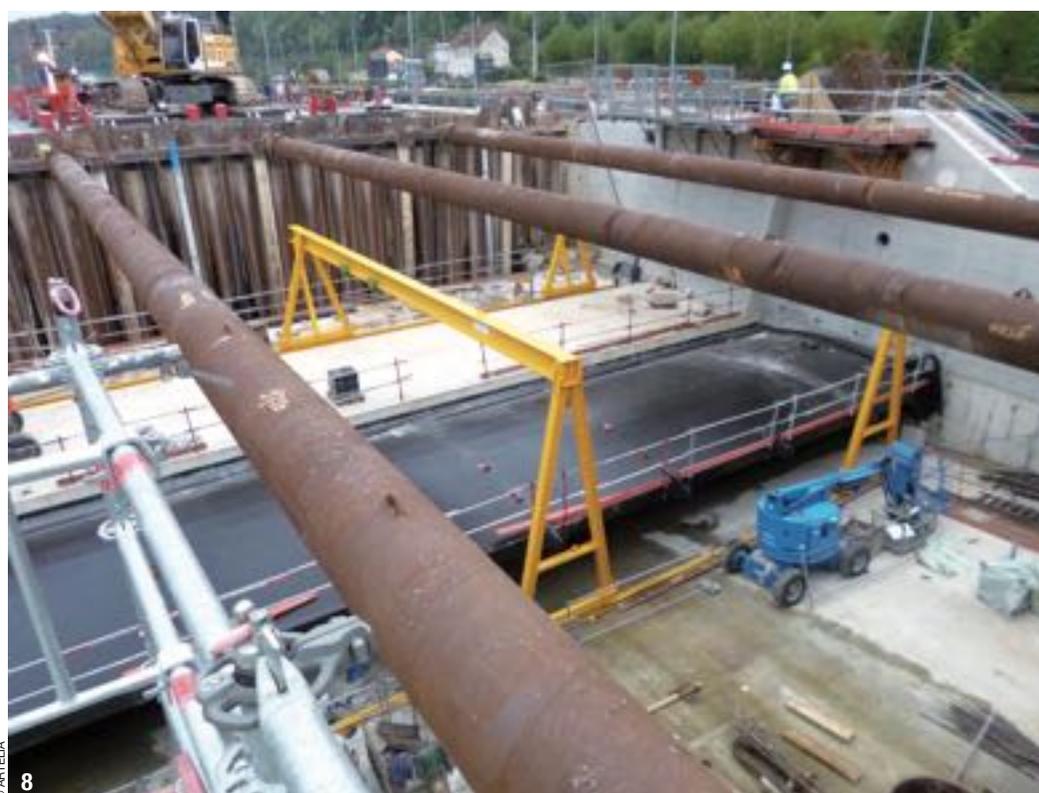
La zone d'installation de chantier a été disposée en rive gauche du côté de la passe à poissons. L'approvisionnement par voie terrestre impose de traverser une zone résidentielle avec une chaussée de faible largeur. La majorité des approvisionnements volumineux (palplanches, pieux, éléments de passerelle) ont été réalisés par voie fluviale. Le groupement a installé dès le début des travaux une grue sur pieux de 60 t dans la Seine. Cette grue est restée en place pendant toute la durée des travaux et a permis de desservir toute la zone avec une capacité de levage de 12 t à 20 m et de 2,8 t à 75 m au niveau des berges.

Certaines étapes de levage telles que les éléments de clapets ou de la passerelle ont nécessité l'utilisation d'une grue de plus grande capacité, jusqu'à 140 t, disposée sur un ponton équipé de flotteurs et d'un pousseur.

7- Passe à poissons.

8- Mise en place des clapets.

7- Fishway.
8- Positioning the check valves.



LE GÉNIE CIVIL DU BARRAGE

Les travaux de génie civil ont débuté après la mise à sec de l'enceinte et le nettoyage du fond de fouille. Des ancrages ont été réalisés pour reprendre les sous-pressions et assurer la stabilité du radier.

Le radier du barrage est un ouvrage massif en béton armé de 30 m de long de l'amont vers l'aval. Il est constitué de trois éléments principaux :

- Une poutre amont en béton armé rive-rive de 13,13 m de long et d'épaisseur variable entre 3,16 m et 0,70 m qui accueille les 12 paliers d'articulation du clapet (figure 5) ;
- Une dalle en béton armé servant de bassin de dissipation de la lame déversante du clapet. Cette dalle de 14,80 m de long est encastrée dans la poutre amont et dans la poutre aval. Son épaisseur varie entre 0,70 et 1,90 m ;
- Une poutre aval de 2,22 m de long, d'épaisseur 2,40 m plus haute que le radier qui permet de contenir le ressaut hydraulique et de former un bassin de dissipation à la chute d'eau. Elle accueille les réservations du batardeau de maintenance aval.

En 2014, les opérations de ferrailage et de coulage ont été réalisées en 25 jours avec 2 équipes de travail 6 jours sur 7 pour réaliser les 2000 m³ de béton du radier.

Les piles du barrage sont dimensionnées pour supporter les poteaux de la passerelle, accueillir les vérins et accueillir le batardeau de maintenance amont (figure 6). Leur largeur varie entre 3,50 m et 1,00 m pour une longueur totale de 27,20 m d'amont en aval. L'accès aux piles s'effectue par un escalier métallique en goutte d'eau et une zone de circulation permet d'accéder aux vérins et aux commandes manuelles.

LES CLAPETS

Chacune des trois passes est équipée d'un clapet de 30,20 m de large. Ils sont prévus pour être manœuvrés dans les conditions de charges maximales et pouvoir occuper toutes les positions intermédiaires entre les positions extrêmes « ouverte » et « fermée », aussi bien dans le sens de la fermeture que de l'ouverture.

Leur manœuvre est assurée par deux vérins alimentés par deux centrales hydrauliques situées de part et d'autre du barrage.

Leur commande sera assurée automatiquement par l'automate de régulation du bief.

Les principales caractéristiques techniques des clapets sont les suivantes :

- Clapet à ventre de poisson de structure mécano-soudée ;
- Largeur : 30,20 m ;
- Hauteur (verticale à partir du radier) : 4,78 m ;
- Niveau de retenue normale : 38,68 m NGF ;
- RN aval : 35,97 m NGF ;
- Chute : 2,71 m ;
- Élévation de l'axe d'articulation : 33,47 m IGN 69 ;
- Niveau du sommet du clapet en position fermée : 38,88 m IGN 69 ;
- Masse totale du tablier : 63 t ;
- Effort de manœuvre maximal : 300 t.

Les clapets ont été mis en place après la réalisation des piles et du radier de chaque passe. Chaque clapet a été approvisionné en 4 parties d'environ 19 t chacune. Les éléments ont été amenés dans l'enceinte du batardeau à l'aide d'une grue de 100 t puis déplacés à l'aide de portiques (figure 7) avant d'être assemblés sur place par boulonnage.

Avant d'araser le batardeau et de remettre en eau la passe, un essai à sec et un essai en eau du clapet ont été réalisés.

L'essai à sec (figure 8) a permis de vérifier la cinématique générale de chaque clapet, le bon contact des joints d'étanchéité et le bon fonctionnement des organes de manœuvre et des accessoires.

L'essai en eau a permis de vérifier le fonctionnement général, l'étanchéité, les efforts de manœuvre, la flèche et les essais sur les verrous.

Les clapets ont ensuite été positionnés en position de transparence dans le radier du barrage avant d'être à nouveau manœuvrés à la fin des travaux en septembre 2017 dans le cadre des essais de manœuvre avec les centrales hydrauliques.

Les opérations de maintenance sur clapets seront possibles pendant la vie de l'ouvrage grâce à un batardeau aval et un batardeau amont permettant de mettre à sec chaque passe. Ces organes sont mutualisés avec d'autres barrages de la Seine amont pour limiter les coûts de fourniture, de stockage, de maintenance et uniformiser les manœuvres.

Le batardeau aval est constitué de potelets métalliques fixés verticalement dans les réservations du radier aval et de palplanches en aluminium placées horizontalement entre les poteaux. Le batardeau de maintenance amont



9- Essai à sec d'un clapet.
10- Passerelle.

9- Dry testing of a check valve.
10- Foot bridge.

sera celui du barrage de la Cave une fois réhabilité. Il s'agit d'une structure de 30 m de long amenée par flottaison et coulée en place. Elle est constituée d'un platelage métallique raidi par des nervures soudées sous sa face inférieure et qui prend appui sur deux caissons longitudinaux de forme cylindrique de 1,5 m de diamètre environ. Ces cais-



sons sont compartimentés par des cloisons transversales. Ceux destinés à être immergés sont munis de vannes et de tuyauteries de remplissage/vidange.

LA PASSE À POISSONS

La passe à poissons de montaison est un ouvrage majeur du nouveau barrage. Longue d'environ 65 m, elle est constituée de 12 bassins de 4 m x 3 m, d'un bassin d'entrée de 10 m de long et d'un bassin de sortie de 9 m de long. La hauteur de chute entre deux bassins est de 22 cm. Un dalot situé sous les bassins permet de constituer un débit d'attrait suffisant en entrée de passe. Des vannes de régulation, des grilles et des dégrilleurs permettent son exploitation.

Sa réalisation (figure 9) a nécessité la mise en œuvre d'un batardeau analogue aux batardeaux du barrage avec la mise en œuvre de crayons pour reconstituer la butée en pied de palplanches. Situés en rive gauche, ces travaux n'ont pas été soumis aux contraintes de planning et de réalisation en période estivale.

LA PASSERELLE

La passerelle d'exploitation permet d'accéder aux piles et aux organes de manœuvre de l'ouvrage. Et leur alimentation électrique et hydraulique. Ouverte au public, elle permettra aux piétons, aux cyclistes et aux personnes à mobilité réduite de passer d'une rive à l'autre. Son accès s'effectue par des rampes et par deux ascenseurs. La passerelle est une structure métallique en poutre-caisson fermée et mécano-soudée en acier. La portée



© ARTELIA
11

entre deux appuis est de 30,75 m pour une longueur totale de 184 m. Sa largeur varie entre 1,60 m en section courante et 2,40 m au centre des travées sur les trois passes du barrage. Le profilé en « L » de la poutre-caisson (figure 10) est constitué :

- D'une plateforme qui supporte le platelage bois et permet la circulation des réseaux divers ;
- D'un garde-corps amont incliné d'un angle 18,5° environ par rapport à la verticale et de hauteur

11- Local commande.

11- Control room.

totale sur platelage de 2,45 m. La partie inférieure de ce garde-corps fait partie intégrante de la poutre-caisson de la passerelle sur une hauteur de 1,05 m environ sur

platelage. Sa partie supérieure est non porteuse ;
→ D'un garde-corps aval en fonte ajouré.

La masse totale du système porteur est d'environ 33 t.

Les plus grands tronçons de la passerelle ont été amenés sur site par voie fluviale et mis en place à l'aide d'une grue de 140 t sur ponton flottant. Le tronçon situé au-dessus de l'écluse a été mis en œuvre de nuit pour ne pas interférer avec le trafic dans l'écluse.

LE LOCAL COMMANDE

Le local commande du barrage et de l'écluse (figure 11) est implanté sur le bajoyer central entre les deux écluses. Le niveau supérieur du bâtiment est organisé autour de l'accueil des marins, de l'exploitation du barrage et de l'écluse et du coin repos de l'exploitant. La surface vitrée du bâtiment et l'absence d'éléments hauts permettent d'avoir une vue dégagée sur l'ensemble du barrage et des écluses.

Le niveau inférieur abrite le local électrique, le local de la centrale hydraulique et les sanitaires. Ce niveau est surélevé pour être au-dessus du niveau de la crue centennale. Un monorail et un chariot roulant permettent les opérations de maintenance.

Le bâtiment est fondé sur des micropieux de 10 m de long situés au droit des poutres-voiles longitudinales à raison de 14 micropieux de 3,65 m d'en-traxe et surmontés d'un sommier filant. La mise en service du barrage réalisée en décembre 2017 a été suivie par la démolition de l'ouvrage existant et la mise au rebut d'environ 1 000 t d'acier. Des aménagements paysagers et de nouvelles zones de circulation permettent de mettre en valeur le site pour le public.

À terme, l'ouvrage régulé par un automate pourra s'insérer dans la gestion automatisée de la navigation sur la Seine amont. □

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Voies Navigables de France

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Artelia / Lwa

GROUPEMENT D'ENTREPRISE : Vinci Construction Maritime et Fluvial (anciennement Emcc) - Demathieu Bard - Gtm Tp - Ducrocq-Rouby Industrie

CONTRÔLE TECHNIQUE : Seco

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : Abrotec - Cit - Egis Eau - Ginger - Tractebel Engineering

PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DE MARCHÉ DE TRAVAUX : 25,9 M€ HT, dont coût des batardeaux : 3,2 M€ HT (hors fourniture des palplanches)

TERRASSEMENTS EN EAU : 12 000 m³

COFFRAGES : 7 000 m²

ACIER : 700 t

BÉTON : 8 500 m³

CLAPET : 200 t

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE VIVES-EAUX DAM ON THE SEINE

CÉLINE FOUCAULT, ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT

Reconstruction work on the Vives-Eaux dam began in 2014, for a period of four years. The new structure was reconstructed between the two walls of the existing dam during three summer seasons, sheltered by watertight enclosures absorbing a load of more than 8 metres of water. Three 30m x 4.8m check valves provide the water head needed for navigation on the upstream and downstream river stretches. The project comes complete with a fishway for upriver runs, an operating steel foot bridge open to the public and a control room for both the dam and the locks. □

RECONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE VIVES-EAUX SOBRE EL SENA

CÉLINE FOUCAULT, ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT

Las obras de reconstrucción de la presa de Vives-Eaux empezaron en 2014, con una duración de 4 años. La nueva construcción se ha reconstruido entre los dos muros de contención de la presa existente durante tres estaciones estivales, protegida con recintos estancos capaces de soportar una carga de más de 8 m de agua. Tres válvulas de 30 x 4,8 m permiten la caída de agua necesaria para la navegación en los tramos río arriba y río abajo. La rehabilitación se ha finalizado con un paso piscícola ascendente, una pasarela metálica de explotación abierta al público y una sala de mandos común para la presa y las esclusas. □



1

© ETMF

RÉHABILITATION DES SYSTÈMES D'ACCOSTAGE ET D'AMARRAGE D'UN POSTE PÉTROLIER À PETIT-COURONNE (76)

AUTEURS : SYLVAIN GARDET, RESPONSABLE DU SERVICE ÉTUDES ET TRAVAUX D'INFRASTRUCTURE AU GRAND PORT MARITIME DE ROUEN - QUENTIN SION, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX - BERTRAND HAENTJENS, DIRECTEUR, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX NORD

LES TRAVAUX CONSISTENT, SUR UN POSTE PÉTROLIER DATANT DE PLUS DE 50 ANS ET DANS UN DÉLAI DE 20 SEMAINES PRÉPARATION COMPRISE, À RECONSTITUER LE FRONT D'ACCOSTAGE. CELUI-CI SERA COMPOSÉ DE 3 DUCS D'ALBE D'ACCOSTAGE (BITUBES ACIER Ø 1 828 mm, ÉPAISSEUR 36 mm, 31 m DE LONGUEUR). LE SYSTÈME D'AMARRAGE COMPORTERA 2 DUCS D'ALBE D'AMARRAGE ET 2 MASSIFS À TERRE. CHAQUE POINT D'AMARRAGE SERA ÉQUIPÉ DE 2 À 3 CROCS DE 100 t CHACUN. LE POSTE, AVEC UNE SOUILLE CONSERVÉE À -6,8 m CMH, POURRA ACCUEILLIR DES NAVIRES JUSQU'À 50 000 t DE DÉPLACEMENT ET DE 128 m À 183 m DE LONGUEUR.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Dans le cadre de la reconversion industrialo-portuaire de la raffinerie de Petit-Couronne suite à la liquidation judiciaire de la société Pétroplus, le Grand Port Maritime de Rouen a retenu, après une procédure de mise

en concurrence, la candidature de la société Dépôt Rouen Petit-Couronne pour le développement de ses activités sur le Terminal Jupiter.

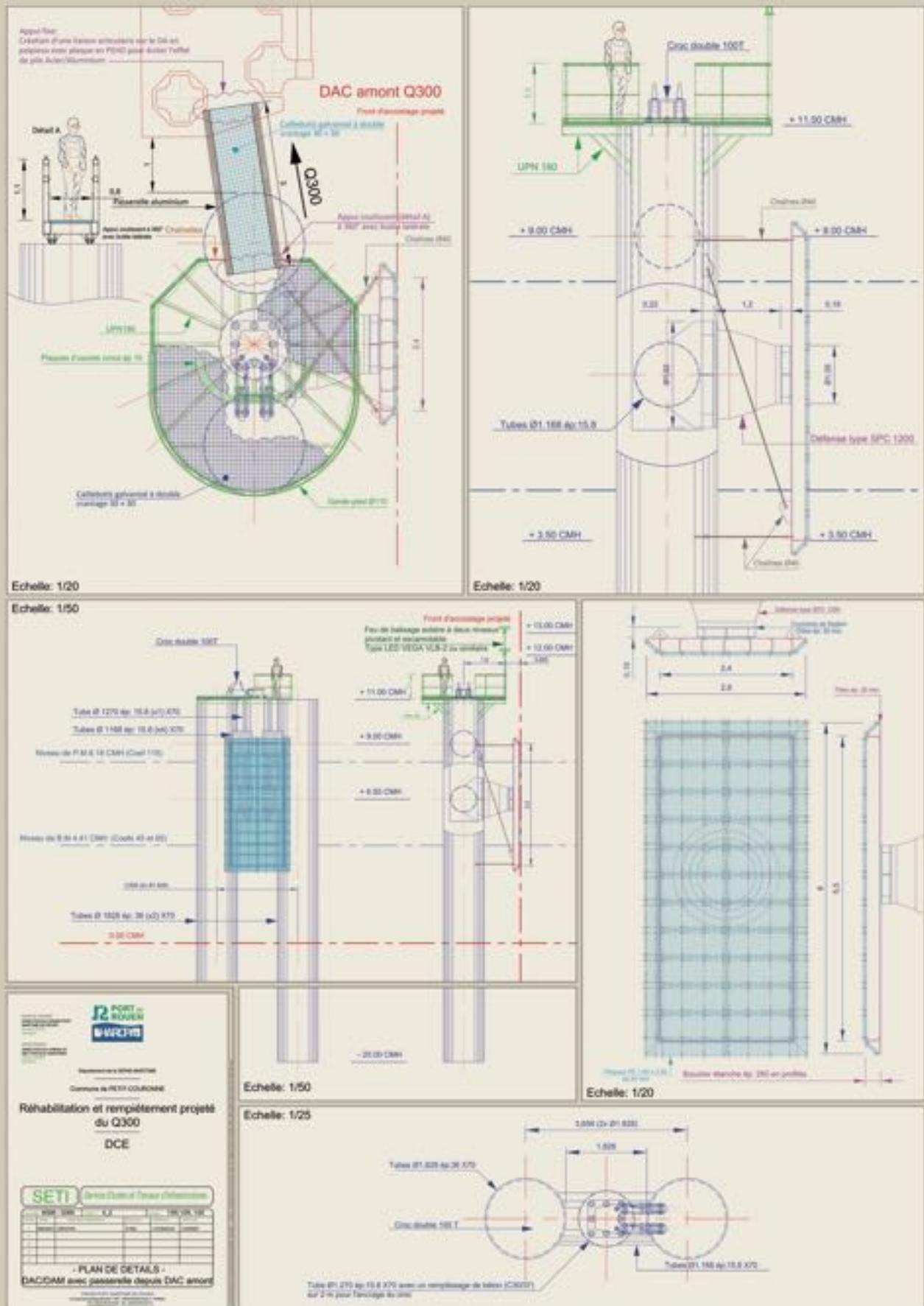
Le titulaire développe son activité en accueillant notamment des navires maritimes sur l'apponement Q300.

1- Mise en œuvre des plateaux de torsion.

1- Placing the torsional couplings.

Le Grand Port Maritime de Rouen disposait en 2016 de peu d'éléments sur la construction de cet ouvrage rectangulaire de 1964 en béton armé d'environ 1 000 m² et sur ses équipements associés. Ceux-ci étaient constitués de 4 ducs d'Albe

COUPE DU DAC PRÉVU INITIALEMENT AU MARCHÉ



© GPMR 2

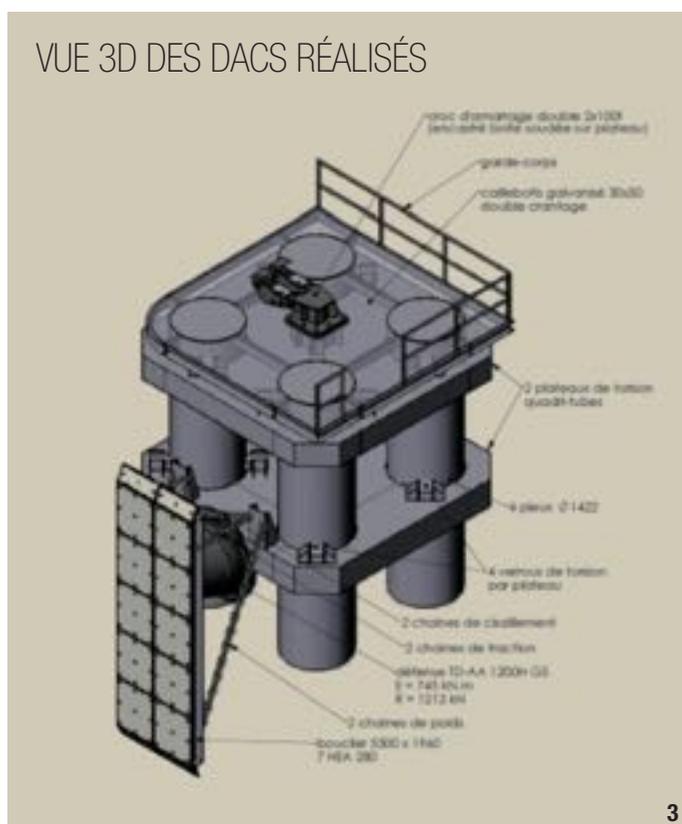
d'accostage d'origine constitués de 6 caissons en palplanches et de 2 ducs d'Albe quadritubes de 1998 en acier. L'analyse portant sur les capacités résiduelles de l'ouvrage s'est déroulée en deux phases :

2- Coupe du DAC prévu initialement au marché.
2- Cross section of mooring post originally planned in the contract.

→ **Phase 1** : investigation in situ avec reconstitution des plans des existants avec des prises de mesures et prélèvements de matériaux ;
→ **Phase 2** : diagnostic structurel portant sur la vérification de l'ensemble de la structure avec la proposition

d'une solution technique de renforcement accompagnée d'une estimation financière des travaux à réaliser et d'une évaluation du délai d'exécution. Plusieurs défauts et pathologies sont ressortis de cette analyse :

- Les organes d'accostage comportaient, pour la plupart, des capacités mécaniques résiduelles bien inférieures à celles prévues. Les différences constatées avec l'état initial provenaient d'une dégradation des caractéristiques des matériaux constitutifs des éléments d'ouvrage (corrosion des aciers et des assemblages) associée à des mouvements excessifs de la structure, de caractéristiques géotechniques mieux connues et de méthodes de calcul modernes plus contraignantes.
- Les organes d'amarrage à terre à caractéristiques mécaniques réduites qui ne permettaient pas, en l'état, la mise en œuvre de crocs indispensables aujourd'hui à la sécurité des navires transportant des hydrocarbures.
- Des organes d'amarrage portés sur les appontements voisins dont les stabilités des structures se sont révélées inadéquates pour les fonctions envisagées.
- Des structures des appontements en béton armé qui se sont révélées fissurées en sous-face des dalles.
- Des perrés détériorés dont la pérennité participe à la stabilité des organes d'amarrage (massifs poids non fondés profondément). La stabilité des perrés est engagée tant dans leur structure interne (perte de matériaux arrière et support de fondation) que dans leur structure de surface (béton de surface).



Le Grand Port Maritime de Rouen a engagé des marchés de travaux pour pérenniser la structure de l'appontement en modérant les charges de service, en réparant les désordres apparus et en procédant à une imperméabilisation de la structure, pour rénover les perrés, et enfin pour réhabiliter le front d'accostage et le système d'amarrage.

3- Vue 3D des DACS réalisés.

4- Chargement des tubes dans le navire.

3- 3D view of the completed mooring posts.
4- Loading tubes in the ship.

UNE OFFRE ADAPTÉE AU MARCHÉ DE RÉHABILITATION DES SYSTÈMES D'ACCOSTAGE ET D'AMARRAGE DU Q300

Les exigences économiques associées à l'activité de Dépôt Rouen Petit-Couronne nécessitaient que les travaux sur le poste maritime Q300 soient achevés en novembre 2017. La publication d'une procédure adaptée a été lancée le 14 mars 2017. Après négociation, le marché a été notifié au groupement Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux/Etpo le 18 mai 2017, pour un délai de 20 semaines comprenant la phase de préparation. Le groupement a proposé une offre qui permettait de répondre aux exigences fortes portant sur le délai :

- En proposant l'emploi de tubes en acier de diamètres et d'épaisseurs disponibles en stock. Cette proposition diminuait significativement les délais d'approvisionnement.
- En augmentant le nombre de tubes constitutifs des ducs d'Albe. Cette augmentation est due à l'emploi de tubes de caractéristiques plus faibles que celles prescrites en solution de base.
- En intégrant les notes de calcul justificatives des tubes et des défenses dans l'offre. Ces documents étaient demandés au Règlement de Consultation. Ils permettaient une analyse anticipée par le maître d'œuvre et réduisaient par la suite les délais associés à l'approvisionnement de ces fournitures situées sur le chemin critique des travaux.





5- Vibrofonçage d'un tube.
6- Nature des sols rencontrés.

5- Vibropiling a tube.
6- Nature of the soils encountered.

- Par la mutualisation des moyens en personnel et en matériels lourds de deux entreprises spécialisées bien équipées, afin de pouvoir le cas échéant doubler voire tripler les postes de travail.
- En utilisant exclusivement des moyens propres au groupement notamment pour le battage des tubes.
- Par une analyse spécifique des moyens de mise en fiche pour éviter des refus prématurés dans le sol d'ancrage des ducs d'Albe.

Les 3 DAC envisagés en bitubes acier Ø 1828 mm, d'épaisseur 36 mm et de 31 m de longueur ont été modifiés en quadritubes Ø 1422 mm à inertie variable (21,6 mm à 32 mm) et de 31,5 m de longueur. Le DAM situé à l'aval supportant 3 crocs de 100 t a été adapté en un hexatubes Ø 1422 mm à inertie variable (21,6 mm à 32 mm) et de 31,5 m de longueur. Le poids d'acier des tubes a été porté de 710 t à 760 t. Les liaisons mécaniques entre tubes ont été effectuées à l'aide de plateaux de torsion. Ceux-ci étaient doubles pour les ducs d'Albe d'accostage (DAC) et simples pour les ducs d'Albe d'amarage (DAM) (figures 2 et 3).

Le délai d'approvisionnement évalué à 6 mois pour la commande de tubes Ø 1828 mm de la solution de base du marché a ainsi pu être réduit à 3 mois.

© ETMF
5

NATURE DES SOLS RENCONTRÉS

Formation	Nature du sol	Profondeur de la base de la formation en cote CMH	Résistance de pointe qc (MPa)	Valeurs pressiométriques	
				PL* (MPa)	E (MPa)
n°1	Remblai graveleux(1)	+8,5 / +6,9 CMH	0,5 < qc < 18,0(1)	PL* = 0,55 (1 valeur) (1)	E = 4,6 (1 valeur) (1)
n°2a	Argile vaseuse très lâche	+1,0 / -3,7 CMH	0,2 < qc < 0,6 Retenue : 0,4	0,10 < PL* < 0,32 Retenue : 0,15	0,4 < E < 2,5 Retenue : 1,0
n°2b	Argile vaseuse lâche	-3,2 / -4,7 CMH	1,0 < qc < 2,0 Retenue : 1,5	0,16 < PL* < 0,60 Retenue : 0,4	1,6 < E < 6,8 Retenue : 4,0
n°3	Grave sableuse grise	-5,7 / -8,2 CMH	qc > 10,0 Retenue : 10,0	0,85 < PL* < 3,30 Retenue : 1,7	6,9 < E < 34,7 Retenue : 15,0
n°4	Craie à silex altérée	-16 CMH	8,0 < qc < 20,0 Retenue : 10,0	1,75 < PL* < 3,67 Retenue : 2,3	13,3 < E < 62,4 Retenue : 29,0
n°5	Craie à silex	-22,2 CMH	Non mesuré	PL* > 3,88 Retenue : 4,6	95,2 < E < 196,0 Retenue : 150

© DR
6

PRÉPARATION ET ACHÈVEMENT DES TUBES

Le cahier des charges spécifiait que tous les éléments métalliques devaient recevoir un complexe de peinture de protection contre la corrosion de catégorie IM2 qui bénéficie de la certification ACQPA. Ce complexe doit également être mis en œuvre par des opérateurs agréés en conséquence. Comme il avait été choisi de faire procéder à la mise en peinture des tubes à l'étranger, il est devenu particulièrement difficile dans les délais prescrits de bénéficier d'applicateurs certifiés ACQPA. Suite à l'analyse par un contrôle externe des niveaux de qualité d'application exigés, il a été possible de trouver une qualification jugée équivalente dans le pays où se situaient les tubes à préparer.

Pour faciliter les transports, le choix d'acheminer les tubes par navires a été fait. De plus, une barge fluviale a été mobilisée pour stocker les 22 tubes à mettre en fiche à proximité du ponton opérateur (figure 4).

UN MATÉRIEL ADAPTÉ AU CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le tableau ci-après détaille les caractéristiques mécaniques des sols reconnus. L'analyse de ces contextes géotechnique et géologique particuliers de la zone d'étude a permis de considérer 2 risques spécifiques :

→ Les massifs à terre qui supportent chacun 2 crocs de 100 t sont fondés sur des tri-tubes. La mise en fiche de ces tubes nécessite l'emploi de grues de forte capacité. Cependant, la stabilité limitée du talus du perré, fondé sur des argiles de caractéristiques mécaniques médiocres, ne permet pas de supporter de charges lourdes. Le groupement a choisi de mettre en œuvre les tubes par voie maritime avec une grue de très forte capacité.

→ Un risque de refus prématuré dans la craie dans laquelle des modules pressiométriques élevés ont été mesurés. Pour prendre en compte ce paramètre, le groupement a choisi un matériel de vibro-fonçage de grosse capacité et de technologie nouvelle. Un matériel lourd de battage a également été mobilisé dans le cas où un refus en vibro-fonçage surviendrait. Le choix s'est porté vibrofonçeur PTC 65 HD et sur un marteau diesel D 60. Les délais estimés pour les mises en fiche ont été parfaitement respectés et le recours au battage n'a pas été nécessaire (figures 5 et 6).

→ Un risque d'instabilité à court terme du perré sous l'effet des vibrations lors de la mise en fiche des tritubes. L'aléa a été réduit par la mise en œuvre de palplanches de soutè-



7

7- Guide de battage des quadritubes.

8- Relevé du scan 3D sur un quadritubes.

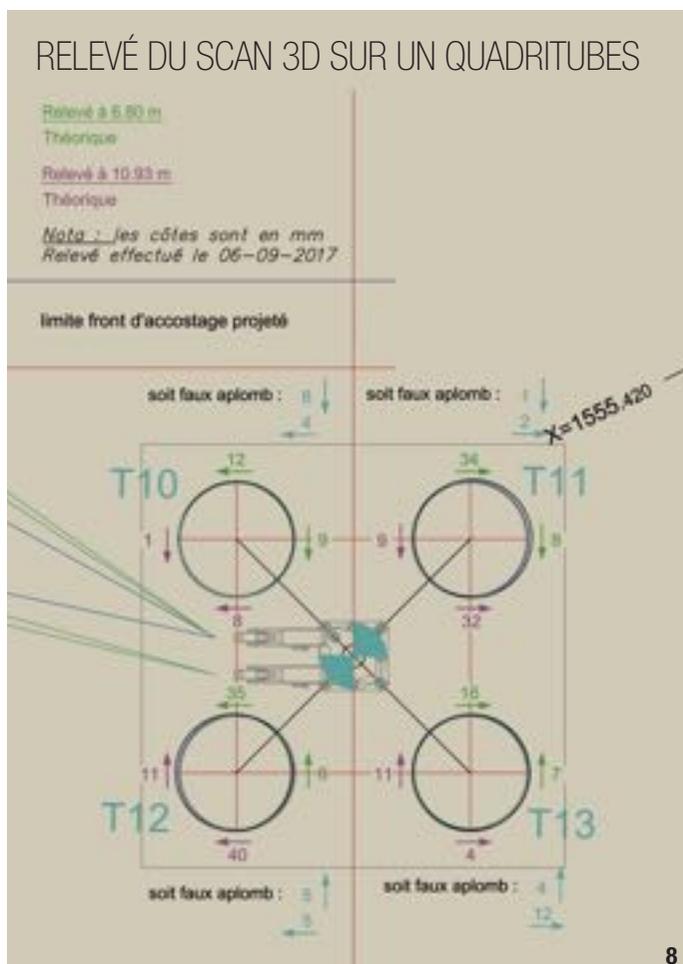
7- Four-tube pile driving guide.

8- Report on the 3D scan of a four-tube unit.

nement mais également par une opération préalable de rénovation des perrés. Aucun dommage n'a été identifié lors des travaux sur les deux massifs à terre.

MOYENS UTILISÉS POUR LE CHANTIER

- Le ponton ETMF VP 700 dimension 45 x 21 m avec grue treillis Kobelco 7150 de 170 t
- Le ponton ETPO Nevez Dimension 40 x 16,80 m avec grue treillis Kobelco 250 t
- Remorqueur ETMF Futé
- Vibrofonçeur ETMF type PTC 65 HD
- Marteau diesel ETPO D 60 avec jupe



8



9

© ETMF

9- Plateau de l'hexatube.

9- Six-tube platform.

UN CONTRÔLE PARTIEL DES DIAGNOSTICS PRÉALABLES

Suite à la pose de nouveaux ducs d'Albe d'accostage, 2 ducs d'Albe datant de 1964 constituaient une gêne pour l'amarrage des navires.

Les 2 séries de 6 palpieux préalablement libérés de leurs liaisons mécaniques ont été successivement arrachées à l'aide des moyens nautiques du groupement.

Un examen de ces éléments a pu être opéré ainsi qu'une comparaison par rapport aux mesures faites en phase 1 d'investigation in situ.

Il ressort que les longueurs de palpieux mesurées après arrachage à 27,5 m ont été assez largement surestimées lors de l'exploitation des mesures d'impédance.

Celles-ci estimaient la longueur moyenne des palpieux à 36,1 m avec une variation des mesures entre 32,5 m et 39,6 m. Les épaisseurs

PRINCIPALES QUANTITÉS DU CHANTIER DE L'APPONTEMENT Q 300

- Mise en œuvre de 3 ducs d'Albe d'accostage de 2 x 100 t composés de 4 tubes Ø 1 420 mm à inertie variable épaisseur variable de 21,6 mm à 32 mm, longueur 31,50 m x 70 et bouclier d'accostage.
- Mise en œuvre d'un duc d'Able d'amarrage de 2 x 100 t composé de 4 tubes Ø 1 420 mm épaisseur variable de 21,6 mm à 32 mm, longueur 31,50 m x 70.
- Mise en œuvre d'un duc d'Able d'accostage de 3 x 100 t composé de 6 tubes Ø 1 420 mm épaisseur variable de 21,6 mm à 32 mm, longueur 31,50 m x 70 et bouclier d'accostage.
- Fourniture et mise en œuvre des dispositifs de liaison entre les tubes pour former 4 ducs d'Albe avec double crocs de 100 t et 1 duc d'Albe avec triple crocs de 100 t.
- Fourniture et mise en œuvre des boucliers métallique et des défenses sur amortisseurs.
- Mise en œuvre de deux massifs d'amarrage à terre de 2 x 100 t fondé sur 3 pieux à inertie variable (épaisseur de 21,6 à 28 mm) longueur 22,00 m.
- Mise en place des plateformes et passerelles d'accès aux lamaneurs.
- Arrachage de deux ouvrages d'accostages composés chacun de 6 caissons en palplanches de 27 m et de trois plateaux de torsion.
- Tubes métallique : 760 t livré directement sur le chantier par voie maritime.
- Crocs d'amarrage à largage rapide 100 t : 11 unités.
- Charpente métallique pour les plateaux et bouclier d'accostage et amarrage : 250 t.
- Montant des travaux : 3 955 000 € HT.
- Période des travaux : août 2017 à décembre 2017.

d'acier résiduelles mesurées in situ étaient d'environ 1 mm supérieures à celles mesurées après arrachage avec des méthodes similaires.

PARTICULARITÉ DE LA MISE EN ŒUVRE DES TUBES DES DUCS D'ALBE.

Pour respecter les tolérances de pose des plateaux de torsion sur les quadrutubes (+/- 5 cm par tube), le groupement a fabriqué un guide de battage spécifique aux dimensions des ouvrages (figure 7).

À la fin du battage des tubes le groupement a procédé à un relevé des quadrutubes par Scan 3D effectué par géomètre-expert (figure 8).

Les tubes ont été mesurés à deux niveaux différents correspondant au niveau de pose des plateaux de torsion pour sécuriser la pose.

Rappel des tolérances :

→ Tolérance des plateaux :

+/- 70 mm,

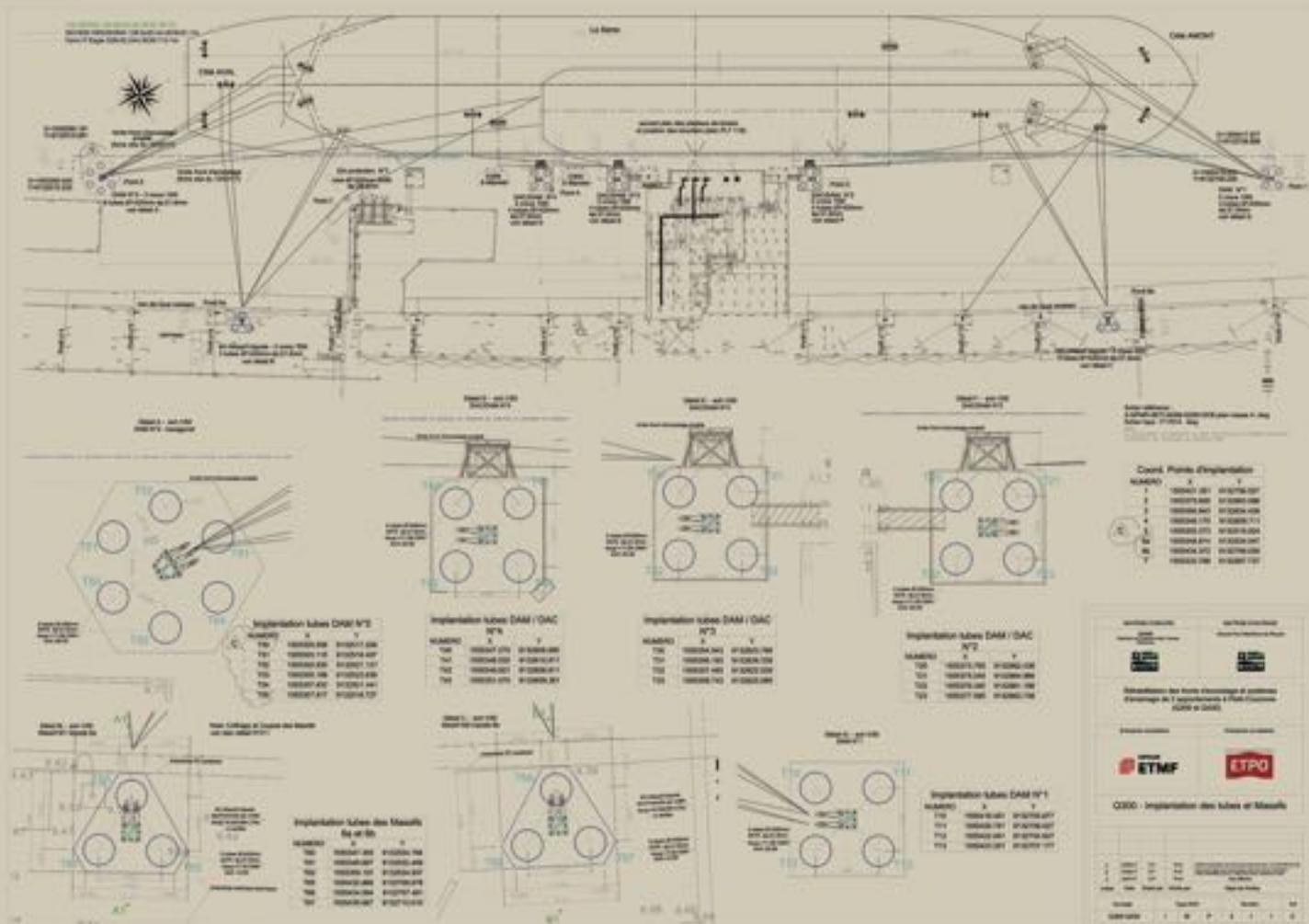
→ Tolérance du marché :

+/- 50 mm,

→ Tolérance moyenne d'Exe :

+/- 25 mm.

Après contrôle de l'implantation et de la verticalité des tubes, les plateaux de torsion sont fixés aux quadrutubes (figure 1).



Pour la mise en œuvre de l'hexatube et assurer un bon positionnement des six tubes, on a utilisé directement le plateau de torsion comme guide de battage (figure 9). Pour cela, le plateau a été équipé d'un garde-corps provisoire. Une fois le battage des six tubes, le plateau à été déposé sur le ponton pour terminer les travaux de peinture et souder sur les tubes les chaises support du plateau. □

10- Plan d'ensemble du front d'accostage Q300.

10- General plan of the Q300 dock face.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Grand port Martine de Rouen

MAÎTRE D'ŒUVRE : Grand Port Maritime de Rouen, Service Études et Travaux d'Infrastructure

GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DES TRAVAUX :

Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux - Etpo

BUREAU D'ÉTUDE POUR LE GROUPEMENT : Apx Ingénierie

SOUS-TRAITANT ÉQUIPEMENTS PORTUAIRES : Cesm

ABSTRACT

RENOVATION OF THE BERTHING AND MOORING SYSTEMS OF AN OIL TERMINAL IN PETIT-COURONNE (NORMANDY)

SYLVAIN GARDET, GRAND PORT MARITIME DE ROUEN - QUENTIN SION, EIFFAGE - BERTRAND HAENTJENS, EIFFAGE

In April 2017, Grand Port Maritime de Rouen (GPMR), owner of the dock faces, sent out an invitation to tender for renovation of berth Q 300. The overall completion period for the project was very short, so GPMR accepted tenders using either the standard solution or a variant solution on condition that all the design calculation sheets be provided when submitting the tender. ETMF-ETPO tendered with a variant solution, choosing to alter the structure sizing in order to use commercially available tubes and use its own lifting, vibropiling and pile driving equipment. Accordingly, the berthing and mooring structures initially consisting of 4 double-tubes and one four-tube unit of dia. 1828 mm and 31 metres long, were transformed into 4 four-tube units and one six-tube unit of dia. 1422 mm and 31.5 metres long, with variable inertia. □

REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMA DE ATRAQUE Y AMARRE DE UNA ESTACIÓN PETROLÍFERA EN PETIT-COURONNE (76)

SYLVAIN GARDET, GRAND PORT MARITIME DE ROUEN - QUENTIN SION, EIFFAGE - BERTRAND HAENTJENS, EIFFAGE

El Gran Puerto Marítimo de Rouen (GPMR), propietario de los frentes de atraque, lanzó una licitación en abril de 2017 para rehabilitar el puesto de amarre Q 300. Dado el estricto plazo global de realización de la operación, GPMR dio la opción de responder con una solución básica o con una variante, a condición de facilitar todas las notas de cálculo desde el momento de la presentación. ETMF-ETPO respondió con una solución variante, basada en modificar el dimensionamiento de las construcciones para utilizar tubos disponibles en el mercado, así como su propio material de elevación, hincas y golpeo. De este modo, las construcciones de atraque y amarre, inicialmente formadas por 4 bitubos y un quatritubo de \varnothing 1.828 mm y 31 m de longitud, se han transformado en 4 quatritubos y 1 hexatubo de \varnothing 1.422 mm y 31,5 m de longitud, de inercia variable. □



1

© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

RÉHABILITATION DU QUAI EST II À PORT-LA-NOUVELLE

AUTEUR : LUDOVIC GROS, INGÉNIEUR CHARGÉ D'AFFAIRES ET EXPLOITATION, SOLETANCHE BACHY FRANCE

DANS LA CONTINUITÉ DES AMÉNAGEMENTS RÉALISÉS SUR LES TRONÇONS A ET B EN 2001, LES TRAVAUX CONSISTENT À SÉCURISER LES TRONÇONS C ET D DU QUAI EST II. L'EXPLOITANT BÉNÉFICIE DE POSTES À QUAI MODERNISÉS QUI CONSERVENT L'ALIGNEMENT AVEC LES QUAIS ADJACENTS GRÂCE À UNE SOLUTION D'ÉCRAN DISCONTINU À L'ARRIÈRE DU RIDEAU DE PALPLANCHE ACTUEL. CETTE PROPOSITION VARIANTE PERMET DE RÉALISER LES TRAVAUX AVEC UN PHASAGE SIMPLIFIÉ ET SÉCURISÉ EN CONSERVANT LES TIRANTS EXISTANTS POUR GARANTIR LA STABILITÉ GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE (figure 1).

INTRODUCTION

Le groupement Soletanche Bachy France (mandataire)/Buesa/Menard a été désigné lauréat de l'opération, fin 2015, par la région Occitanie Pyrénées Méditerranée. Le projet a été réparti entre les membres du groupement de la manière suivante :

Buesa a pris place le premier en démolissant les ouvrages existants et en mettant à jour le réseau de pourtrason structurelle.

Soletanche Bachy France a ensuite réalisé les barrettes et les tirants, de

1- Vue d'ensemble des ateliers de barrettes et de CMC avec port en activité.

1- Overall view of the barrette and Controlled Modulus Column (CMC) equipment, with the port in operation.

manière à stabiliser l'ouvrage en parallèle de la réalisation des inclusions par Menard.

Les équipes de Buesa ont réalisé le Génie Civil et les déblais-remblais jusqu'à la couche de forme. Enfin, Buesa a procédé aux travaux de dragage et de protection de la souille après validation de la tranche conditionnelle. La majeure partie des équipements a été sous-traitée à des entreprises spécialisées.

La réhabilitation de l'ouvrage avec continuité d'activité sur les quais voi-

sins implique la prise en considération de nombreuses contraintes à savoir :

- La proximité d'une zone Seveso ;
- Une voie ferrée en fonctionnement, à conserver en plein cœur du chantier ;
- La navigation permanente dans la darse et le chenal portuaire (figure 2) ;
- Un planning imposé avec des délais partiels stricts et notamment la fermeture d'une voie ferrée ITE pendant un délai maximal de 6 semaines.



2

© SOLEILANCHE BACHY

L'ÉCRAN DISCONTINU EN BARRETTES DE PAROI ARMÉE AU COULIS

La solution d'écran discontinu a permis de faciliter le phasage et de réduire considérablement les délais.

En effet, elle enjambe les poutres transversales de la structure portante ce qui permet de garder actif le niveau de tirant existant.

La superposition des ouvrages existants (pieux, poutres, ...) a été modélisée via une maquette numérique dès le stade de l'appel d'offres, afin de mieux appréhender les interfaces entre les éléments nouveaux et anciens. Ainsi, une marge suffisante a été garantie entre les poutres et les barrettes à réaliser, y compris l'épaisseur de la murette-guide (figure 3).

2- Vue d'ensemble du chantier avec site en exploitation.

2- General view of works on the site in operation.

Un outillage puissant de type benne hydraulique a été choisi pour garantir une verticalité inférieure à 0,50 % et une capacité d'ancrage dans le substratum.

Le coulis de ciment a été préféré à une solution en béton car il réduit les contraintes dans le sol pendant sa prise et donc la poussée sur le rideau de palplanche existant.

PRÉSENTATION DU PROJET

VALÉRIE ROUQUIER, RESPONSABLE DU PÔLE MAÎTRISE D'OUVRAGE, SERVICE MAÎTRISE D'OUVRAGE PORTUAIRE, DIRECTION DE LA MER

Dans le cadre de son programme d'investissement pour la modernisation du port historique de Port-la-Nouvelle, la Région Occitanie Pyrénées Méditerranée a engagé les travaux de réhabilitation des tronçons C et D du quai Est II. Il s'agissait de sécuriser 175 m de quai en rétablissant les conditions d'accueil, tout en augmentant les capacités de stockage sur le terre-plein arrière jusqu'à 15 t/m².

Au stade de la consultation pour les travaux, la solution de base prévoyait la réalisation d'un rideau de palplanches continu à l'arrière du rideau existant. Il s'agissait d'une figure imposée permettant de conserver l'alignement avec les tronçons amont A et B. La problématique du maintien de la stabilité de l'ouvrage existant pendant les travaux imposait un phasage complexe de la solution, du fait de la découpe des tirants existants. La solution de base consistait ainsi à déconstruire/reconstruire par tronçons unitaires de 5 m.

L'entreprise a séduit par sa variante en barrettes de paroi armée au coulis. Il s'agissait de construire un ouvrage discontinu en arrière du rideau existant en maintenant les tirants d'ancrage. Cette solution permettait de reprendre les efforts de poussée par effet de voûte entre les barrettes tout en apportant un gain de sécurisation indéniable en phase travaux. La technique de réalisation des barrettes présentait également un avantage certain par rapport à la solution de base vis-à-vis des problématiques vibratoires qui constituaient un enjeu fort pour les avoisinants (silos céréaliers sensibles aux phénomènes vibratoires). La construction des barrettes a été mise en œuvre à l'aide d'un outillage puissant, de type benne hydraulique KS, issu des ateliers de fabrication de l'entreprise. Cette technique amenait à la solution proposée une robustesse supplémentaire en comparaison d'une solution de battage, plus classique, présentant de forts risques de dégrafage au contact du substratum induré au toit variable. Comme souvent, les projets de réhabilitation révèlent des impondérables et dans notre cas, l'environnement géotechnique complexe n'a pu être

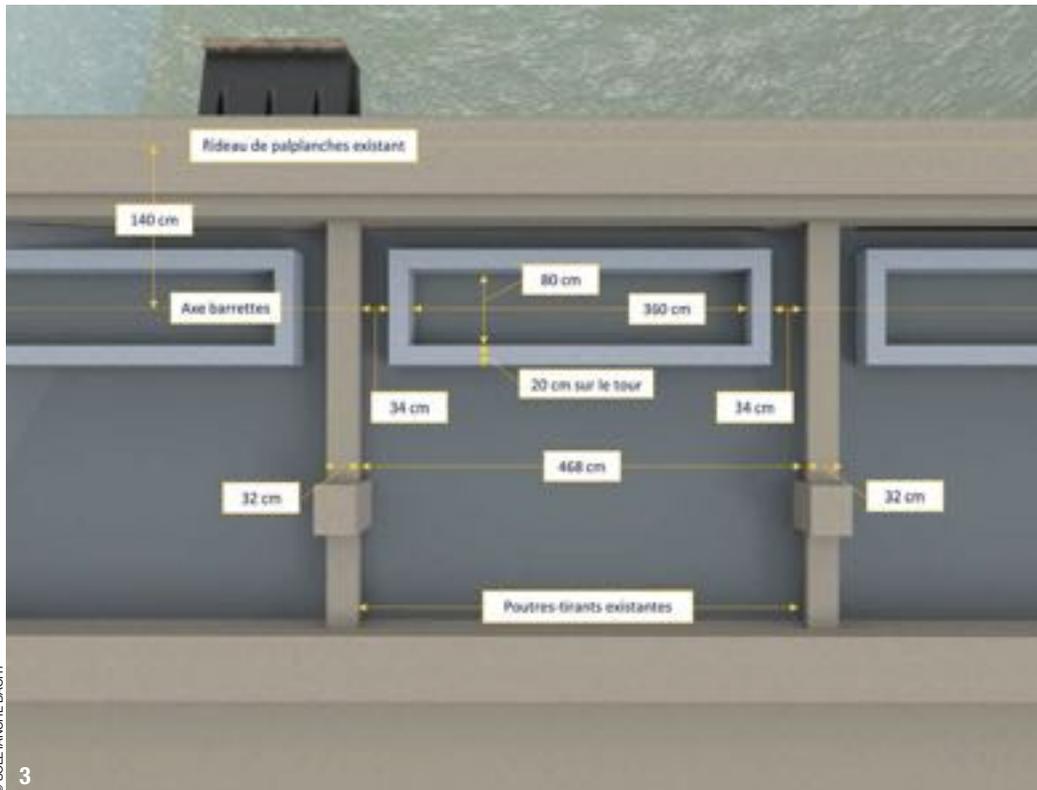
parfaitement cerné, malgré les importantes reconnaissances que nous avons effectuées durant la phase conception. Il a ainsi été nécessaire :

- De rallonger les tirants suite aux essais préalables,
- De traiter le terre-plein arrière pour combler la présence de nombreux vides karstiques,
- D'équiper certaines barrettes de micropieux racines pour compenser un substratum au toit plus haut que prévu.

L'entreprise a su faire face à ces aléas et proposer dans les meilleurs délais une solution adaptée à chaque problématique de chantier. Elle a su également s'adapter en termes d'organisation du chantier en doublant des postes de travail et en adaptant certains ateliers, ce qui lui a permis de réduire les impacts sur le planning prévisionnel des travaux.

Livré au début de l'été, le quai, d'un montant de 7,6 M€ TTC, est aujourd'hui en service et bénéficie à nouveau à l'exploitant et aux opérateurs privés pour le développement des trafics solides, en vrac et en conditionné. L'opérateur céréalier y a déjà concrétisé son engagement par la mise en place d'un nouvel outillage lui permettant d'améliorer ses cadences, pour un montant de plus de 3 millions d'euros.

Ce projet constitue l'étape ultime du programme de modernisation et d'entretien du port historique avant de se tourner vers le futur : une extension portuaire aux larges ambitions. Cette extension consiste en la création d'un nouveau bassin portuaire adossé à une plate-forme logistique de 80 ha dont la construction sera phasée et qui pourra accueillir à terme des navires de grande capacité (225 m x 36 m x 14,5 m). Le nouveau bassin permettra, en 1^{re} phase, l'émergence d'une nouvelle filière porteuse d'avenir, l'éolien offshore flottant. En effet, deux groupements y lanceront leurs premières fermes pilotes dans les trois ans. Par son engagement volontariste, la Région Occitanie Pyrénées Méditerranée, s'inscrit dans l'avenir en dotant le port de Port-la-Nouvelle d'infrastructures à la hauteur des enjeux du trafic maritime d'aujourd'hui et de demain.



© SOLETANCHE BACHY
3

Sa densité supérieure à celle de la boue bentonitique utilisée dans le cadre d'une paroi moulée permet de consolider le terrain en limitant les pertes de fluide. Une résistance à la compression de 4 MPa était recherchée puisqu'il s'agit d'un soutènement. Cette méthodologie a également permis de travailler avec une grue située à distance du bord à quai (figure 4), de manière à ce que sa charge ne provoque pas de poussée sur le rideau de palplanches existant.

3- Détail de l'implantation des barrettes.

4- Benne hydraulique KS.

5- Équipement de l'armature.

3- Detail of the barrette layout.

4- KS hydraulic bucket.

5- Reinforcement equipment.

Enfin, une armature constituée de profilés métalliques liaisonnés a été équipée dans le panneau excavé avant la prise du coulis (figure 5).

Le ferrailage a été dimensionné pour reprendre l'intégralité des efforts de poussée. Ceux situés entre les barrettes sont repris par effet voûte sur le même modèle qu'une paroi discontinue de type lutécienne.

Le toit du substratum étant variable, certaines barrettes ont été prolongées

par des micropieux racines pour assurer l'ancrage requis. Ces derniers sont au nombre de 4 unités par barrette et sont scellés de 5 m dans le calcaire. Chaque barrette est ainsi ancrée dans le substratum.

FORAGE DES TIRANTS DEPUIS UNE PLATE-FORME DÉPORTÉE

L'intégralité des tirants a été réalisée depuis une plate-forme déportée (figure 6), développée spécifiquement pour ce projet par le Service Matériel Eurofrance de Soletanche Bachy.

La plate-forme est soutenue par la foreuse à terre et par deux ballasts en appui côté mer.

Une minipelle équipée d'une pince à tube assure l'équipement des tiges de forage de 3 m de long (250 kg), ce qui augmente le contreponds côté terre. Cette solution terrestre permet, d'une part, de s'affranchir de l'aléa climatique lié à des travaux sur barge et de ne pas emprunter le chenal (réduction de l'espace navigable) et, d'autre part, de limiter les interfaces avec les nombreux travaux à terre (VRD, massifs GC, voie ferrée ITE).

Suite aux essais préalables les longueurs définitives des tirants ont été établies.

Les tirants de 250 mm de diamètre dont la longueur varie entre 37 et 42 m ont été réalisés en méthode autoforée Hi'Drill® afin de s'affranchir du risque d'éboulement (figure 7).

Avant les forages, afin de s'affranchir des vides rencontrés en profondeur, un traitement de comblement des vides a été mis en œuvre. ▷



© CÉDRIC HELSLEY POUR SOLETANCHE BACHY
4

5



6
© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

REMPLISSAGE DES VIDES

Le plan d'action consistait à réaliser 3 forages dans l'axe des barrettes et de les équiper d'un tube PVC de diamètre 63 mm lisse (hors zone de traitement) et lanterné sur la hauteur de traitement. Les forages à l'avant et à l'arrière sont injectés en premier lieu.

Le forage central, dit secondaire, est un forage de contrôle permettant de valider le bon remplissage du vide au droit du futur tirant.

Un coulis bentonite-ciment (dosé à 400 kg/m³ avec ratio C/E = 0,45) rempli de façon gravitaire la zone identifiée (figure 8) avec pour critère d'arrêt un volume supérieur à 10 m³/forage.

La fiche de synthèse du volume injecté (figure 9) montre les zones sur lesquelles les plus gros volumes ont été nécessaires.

Sur le quai D, la grande majorité des forages primaires a atteint le critère d'arrêt. Les forages secondaires avec des volumes injectés de l'ordre de 10 fois inférieurs aux primaires ont confirmés la bonne imprégnation du terrain.

Sur le quai C, le substratum calcaire est apparu plus sain et plus haut.

POUTRE DE COURONNEMENT

Une fois le tirant terminé, il est mis en tension avec une clé dynamométrique via un système de chaise et platine adapté qui le connecte à la lierne, elle-même intégrée à la barrette (figure 10). À ce stade, le soutènement nouveau est opérationnel et reprend l'intégralité de la poussée des terres ainsi que les charges d'exploitation.

C'est donc en toute sécurité que la poutre de couronnement est démolie pour pouvoir réaliser une poutre qui

englobe les deux écrans de soutènement et l'ancrage tout juste réalisé. La démolition de la poutre est réalisée avec minutie en respectant le phasage suivant :

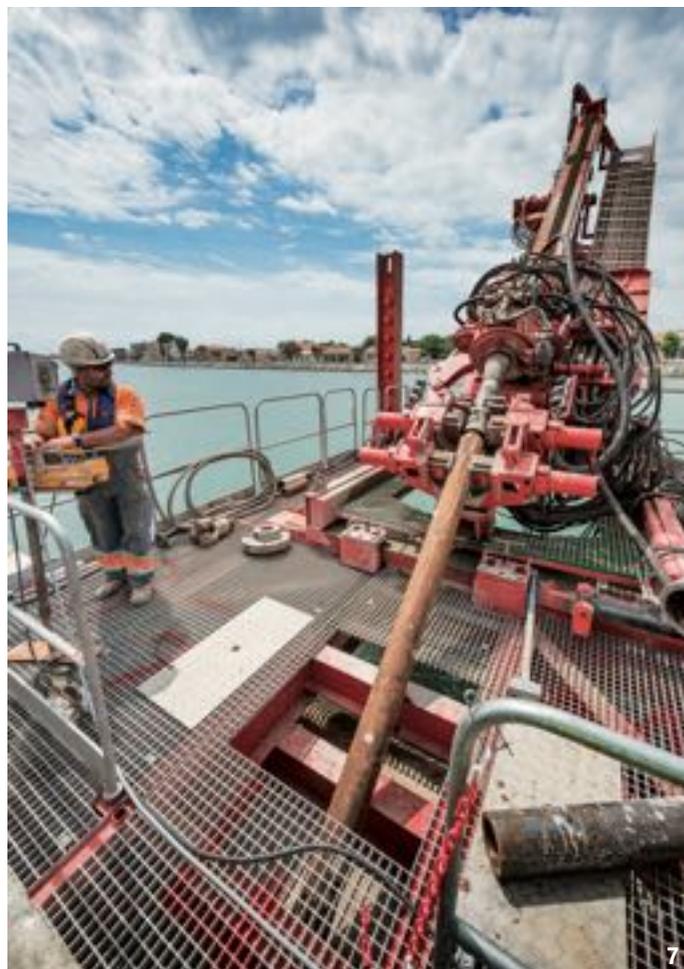
→ Réalisation d'une dalle en béton armé, scellée dans la poutre, permettant de sécuriser la démolition de la poutre existante par tronçon ;

6- Plate-forme de forage.

7- Forage des tirants.

6- Drilling platform.

7- Tie anchor drilling.



7
© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

→ Mise en place d'un ponton côté mer en appui sur la poutre afin d'éviter que les blocs de béton ne tombent dans l'eau ;

→ Déconstruction soignée de la poutre jusqu'à la cote +0,75 NGF, située au-dessus de l'arase supérieure des palplanches ;

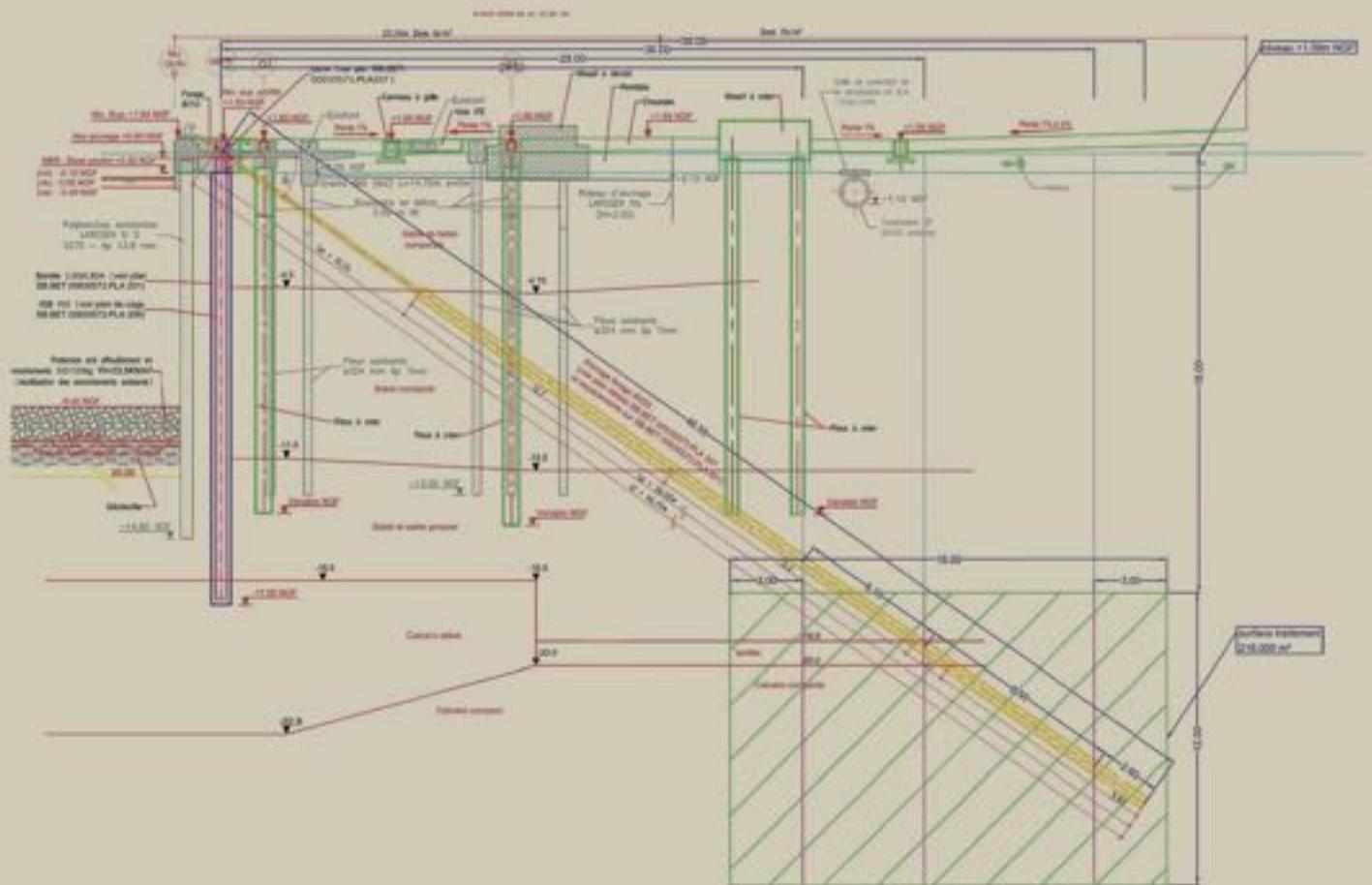
→ Équipement de la façade avant de la magistrale avec des tiges de levage et extraction à l'aide de moyens de découpe du béton de type sciage diamant.

L'arase inférieure de la poutre de couronnement étant située sous le niveau de la mer, il est nécessaire de réaliser un masque préfabriqué, fixé à l'arrière sur la dalle en béton armé (figure 11). L'étanchéité entre ces masques de 5 m de long est réalisée avec un joint en nitrile. Afin de s'affranchir des irrégularités liées au recépage effectué sur les palplanches existantes, une règle de pose métallique est mise en place sur la tête des palplanches. Elle garantit l'altimétrie de l'élément préfabriqué. Une fois les éléments préfabriqués fixés sur la structure existante, la phase de coffrage arrière débute. Le bétonnage est effectué par tronçons de 30 m par plots alternés pour s'affranchir de la fissuration liée au retrait généré durant les premiers jours suivant le bétonnage. Un plot d'environ 2 m est laissé en attente dans un premier temps puis clavé (figure 12).

AMÉLIORATION DE SOL PAR COLONNES À MODULE CONTRÔLÉ (CMC)

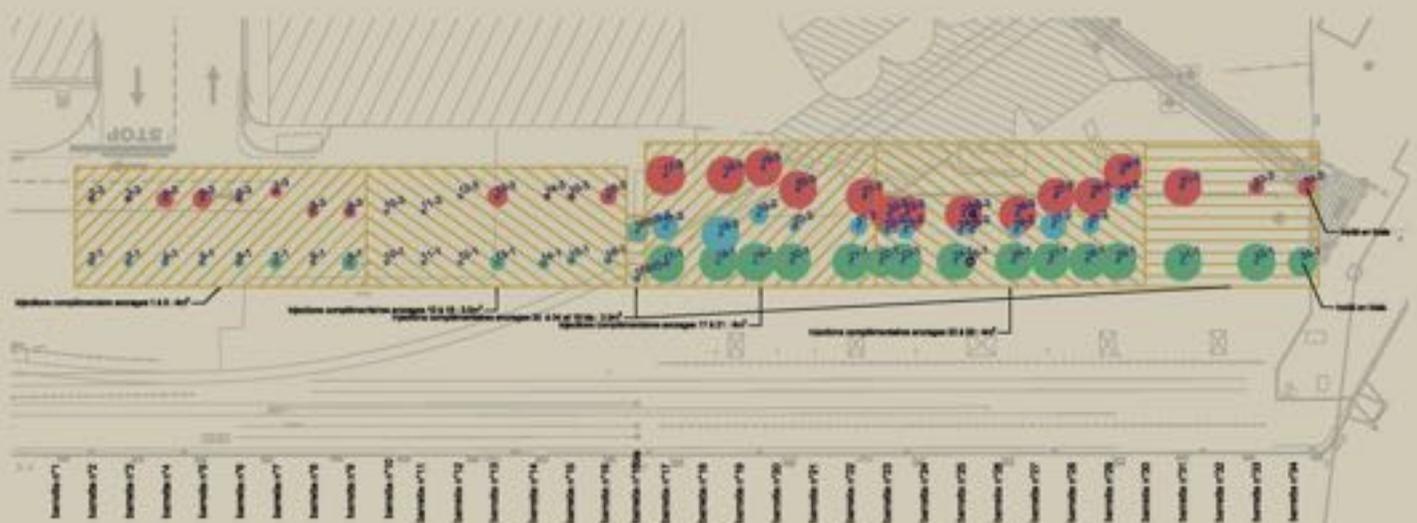
Menard, cotraitant du groupement, a réalisé 1 269 CMC de 4 à 9 m de profondeur, jusqu'au contact des sables compacts.

IDENTIFICATION DE LA ZONE DE TRAITEMENT



8

SYNTHÈSE DES VOLUMES INJECTÉS PAR FORAGE



9

© SOLETANCHE BACHY

Les colonnes à module contrôlé sont des inclusions semi-rigides au mortier, ici de diamètre 320 mm. Elles transmettent une partie des charges depuis le matelas de répartition située sous la chaussée jusqu'au toit du terrain considéré comme suffisamment compact. Le maillage a été défini de manière à garantir les critères de tassement suivants :

8- Identification de la zone de traitement.

9- Synthèse des volumes injectés par forage.

8- Identification of the treatment area.
9- Overview of volumes cement-grouted by drilling.

- Tassement inférieur à 50 mm dans la zone de bord à quai chargé à 6 t/m² et sous la voie ferrée ITE ;
- Tassement inférieur à 75 mm sur le terre-plein arrière chargé à 15 t/m².

PIEUX STARSOL

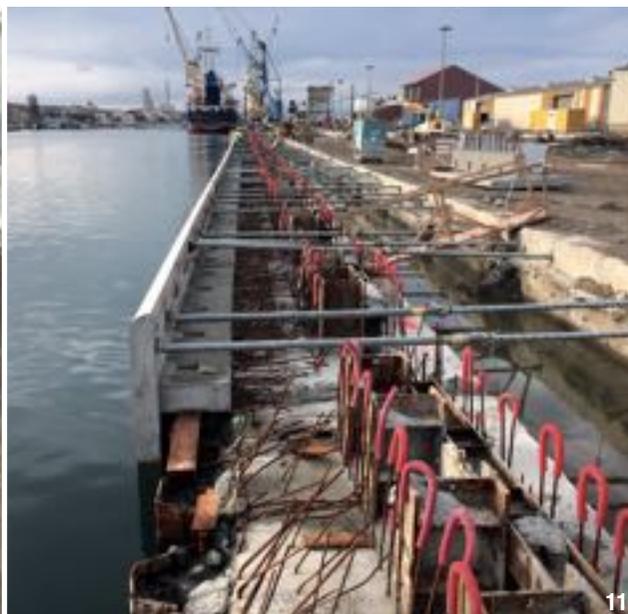
Après avoir participé à la réhabilitation des quais A et B en 2001, Soletanche Bachy Pieux s'est chargé

de réaliser les pieux de fondations (figure 13) des voies de roulement et des massifs supports des bandes transporteuses.

Son procédé Starsol® largement reconnu a permis de proposer une variante adaptée et économique face à des pieux métalliques présentant un fort risque de refus dans le calcaire induré.



10



11

© SOLETANCHE BACHY



12



13

10- Liaisonnement barrette/tirant.

11- Mise en œuvre du masque préfabriqué.

12- Voie de roulement et zone de clavage de la poutre de couronnement.

13- Réalisation des pieux Starsol.

10- Barrette/tie-anchor linking.

11- Placing the prefabricated facing membrane.

12- Track and keying area for the capping beam.

13- Execution of Starsol piles®.

VOIES DE ROULEMENT

Il s'agit de prolonger les voies de roulement de type GCR 108 des grues du quai B jusqu'au quai D mais également de prolonger la voie ferrée jusqu'aux silos (figure 14).

Au droit du croisement entre ces rails de différents types, il est prévu une pièce moulée spécifique nécessitant un délai de réalisation proche d'une année. Cette tâche est donc sur le chemin critique du projet.

© SOLETANCHE BACHY



© SOLETANCHE BACHY

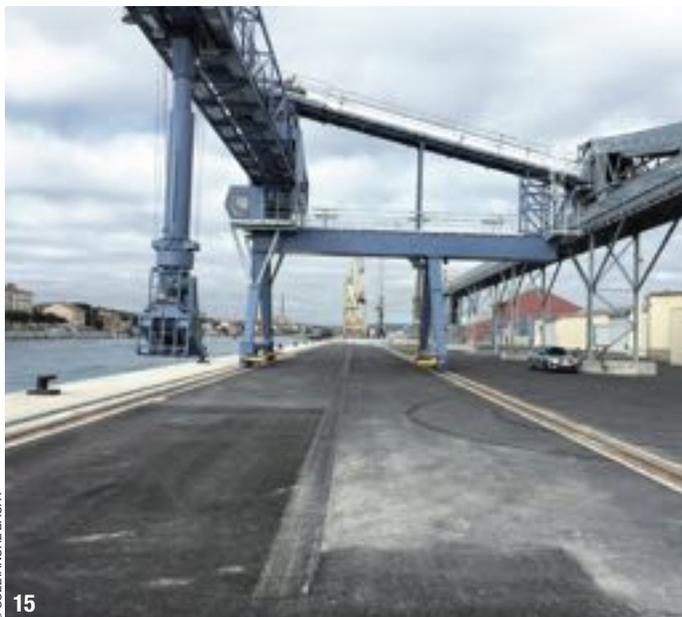
14

Le délai partiel de 6 semaines concernant la coupe de la voie ITE pour limiter l'impact sur le trafic ferroviaire à destination des silos a été respecté.

L'opérateur *Les Silos du Sud* a été très impliqué au cours des nombreuses tâches réalisées à proximité de son outil de travail désormais flambant neuf ! Une fois le chantier réceptionné, l'exploitant (CCI de l'Aude) a mis en place son nouveau portique pour commencer à exploiter le site sans délai (figure 15). □

14- Voie de roulement ITE.
15- État final avec portique.

14- Industrial siding track.
15- Final condition with portal frame.



© SOLETANCHE BACHY

15

PRINCIPALES QUANTITÉS

QUAI À RÉHABILITER : 175 m

PAROI ARMÉE AU COULIS : 34 barrettes d'épaisseur 800 mm, d'environ 18 m de profondeur dont 18 prolongées par des micropieux racines

TIRANTS D'ANCRAGE : 34 unités entre 37 et 42 m pour un linéaire total d'environ 1 360 m

GÉNIE CIVIL : 1 800 m³ de béton

TERRE-PLEIN : 6 000 m² de chaussée lourde et de colonnes à module contrôlé (CMC)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Occitanie Pyrénées Méditerranée

MAÎTRE D'ŒUVRE / VISA : Bri

MAÎTRE D'ŒUVRE / EXÉCUTION : Région Occitanie Pyrénées Méditerranée

ENTREPRISE : groupement Soletanche Bachy France (mandataire) / Buesa / Menard

ABSTRACT

RENOVATION OF THE EST II QUAY IN PORT-LA-NOUVELLE

LUDOVIC GROS, SOLETANCHE BACHY

The Occitanie Pyrénées Méditerranée region wants to modernise its historical port before undertaking a major port extension project. The renovation project for the Est II quay was performed using a variant with a discontinuous screen wall one metre to the rear of a sheet piling curtain and between the existing tie anchors. A reinforced slurry wall was chosen so as to limit fluid losses and thrust during grout setting, close to the quay for which the adjacent land was partially decompressed. The barrettes were fitted with tie anchors executed from a remote platform specially designed by Service Matériel Eurofrance. This drilling platform made it possible to execute the tie anchors onshore, eliminating climatic contingencies and problems related to port activity. □

REHABILITACIÓN DEL MUELLE ESTE II EN PORT-LA-NOUVELLE

LUDOVIC GROS, SOLETANCHE BACHY

La región francesa de Occitania Pirineos Mediterráneo desea modernizar su puerto histórico antes de iniciar una ampliación portuaria de envergadura. El proyecto de rehabilitación del muelle Este II ha sido objeto de una variante con pantalla discontinua, un metro por detrás de una pantalla de tablestacas y entre los tirantes existentes. Se ha optado por una pared armada con lechada para limitar las pérdidas de fluido y el empuje durante el fraguado de la lechada, cerca del muelle cuyos terrenos adyacentes están parcialmente descomprimidos. Los pilotes se han equipado con tirantes, ejecutados desde una plataforma remota, especialmente diseñada por Service Matériel Eurofrance. Esta plataforma de perforación ha permitido realizar los tirantes desde tierra, lo que elimina las contingencias climáticas y los problemas derivados de la agitación portuaria. □



1
© BOUYGUES TP RF

EXTENSION DU TERMINAL À MARCHAN- DISES DIVERSES ET CONTENEURS À MONTOIR-DE-BRETAGNE - LA CONSTRUCTION D'UN QUAI VIVANT

AUTEUR : SAMY RIFAÏ, INGÉNIEUR TRAVAUX, BOUYGUES TP RF

LE CHANTIER D'EXTENSION DU TERMINAL À MARCHANDISES DIVERSES ET CONTENEURS N°4 (TMDC4), SITUÉ SUR LE PORT DE MONTOIR-DE-BRETAGNE, CONSISTE À CONSTRUIRE UN QUAI À TALUS OUVERT DE 350 m DE LONGUEUR FONDÉ SUR DES TUBES MÉTALLIQUES BATTUS AU ROCHER PORTANT UN TABLIER EN BÉTON ARMÉ. IL COMPREND ÉGALEMENT DES TRAVAUX DE RECTIFICATION ET DE CONFORTÈMENT DE BERGE PAR DES REMBLAIS EN GRANDE MASSE, UN RÉSEAU D'INCLUSIONS RIGIDES VERTICALES ET LA RÉALISATION D'UNE STRUCTURE DE CHAUSSÉE EN ENROBÉS.

LE BESOIN

Afin de répondre au développement du pôle industriel et logistique de Montoir-de Bretagne et à l'évolution de la flotte des porte-conteneurs, Nantes Saint-Nazaire Port, maître d'ouvrage de cette opération, a décidé d'accroître les capacités d'accueil du Terminal à Marchandises Diverses et Conteneurs (TMDC) existant. L'extension du TMDC s'inscrit dans le

cadre du projet stratégique du port, visant à accompagner le développement des filières et garantir la performance de l'outil industriel portuaire (figure 2).

Les travaux engagés ont plusieurs objectifs :

1- Accueillir des grands navires porte-conteneurs de 6000 à 8000 EVP (Équivalent Vingt Pieds - l'unité de mesure des porte-conteneurs).

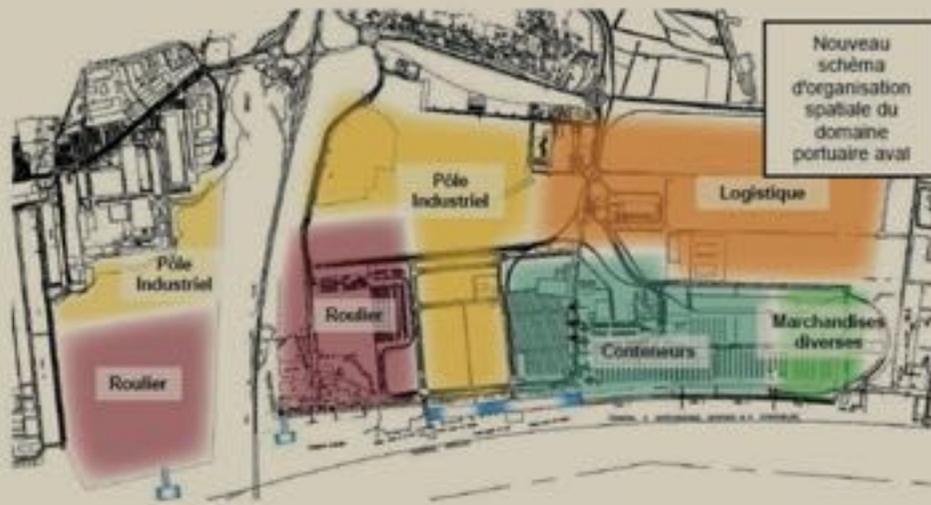
1- Vue générale du chantier en phase travaux.

1- General view of the site in the works phase.

Les caractéristiques du navire type prises en compte pour dimensionner le projet sont :

- Longueur (hors tout) : 330 à 350 m ;
- Longueur (flottaison) : environ 320 m ;
- Largeur : 43 à 46 m ;
- Tirant d'eau : 14,50 m ;
- Masse (TE 14,50 m) : environ 140 000 t ;

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES TRAVAUX



© GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE

2

- Capacité : 8 000 EVP.
Du fait de cassures angulaires entre chaque poste du TMDC, l'accueil de navires était jusqu'alors limité à des porte-conteneurs d'une longueur maximale de 290 m.

- 2- Disposer des infrastructures nécessaires (quais et terre-pleins) au traitement des trafics attendus : 340 000 EVP en 2020 et 615 000 EVP en 2030.
- 3- Disposer de portiques de nouvelle génération en capacité de traiter des grands porte-conteneurs.

2- Situation géographique des travaux.
3- Section simplifiée du projet.

2- Geographic location of the works.
3- Simplified cross section of the project.

- 4- Disposer d'un quai permettant de traiter des colis lourds tels que les nacelles produites par General Electric.

En fin d'année 2014, l'usine General Electric (ex-Alstom), dédiée à la construction de nacelles d'éoliennes offshore, a été inaugurée sur le pôle industriel et logistique de Montoir-de-Bretagne. L'exploitation de cette usine nécessitait, pour l'expédition de sa production, d'un quai à proximité pouvant reprendre les charges d'exploitation importantes allant jusqu'à 15 t/m².

LE PROJET

L'extension de 350 m de quai est réalisée vers l'aval en alignement avec le poste 4 du TMDC. Elle comprend la construction du quai sur une largeur de 53 m, associée à la réalisation d'un terre-plein situé en arrière-quai sur 50 m de profondeur (figure 1).

Les travaux à exécuter dans le cadre de ce chantier sont situés sur la rive droite de la Loire, dans une section du fleuve soumise à l'action de la marée (régime de type semi-diurne).

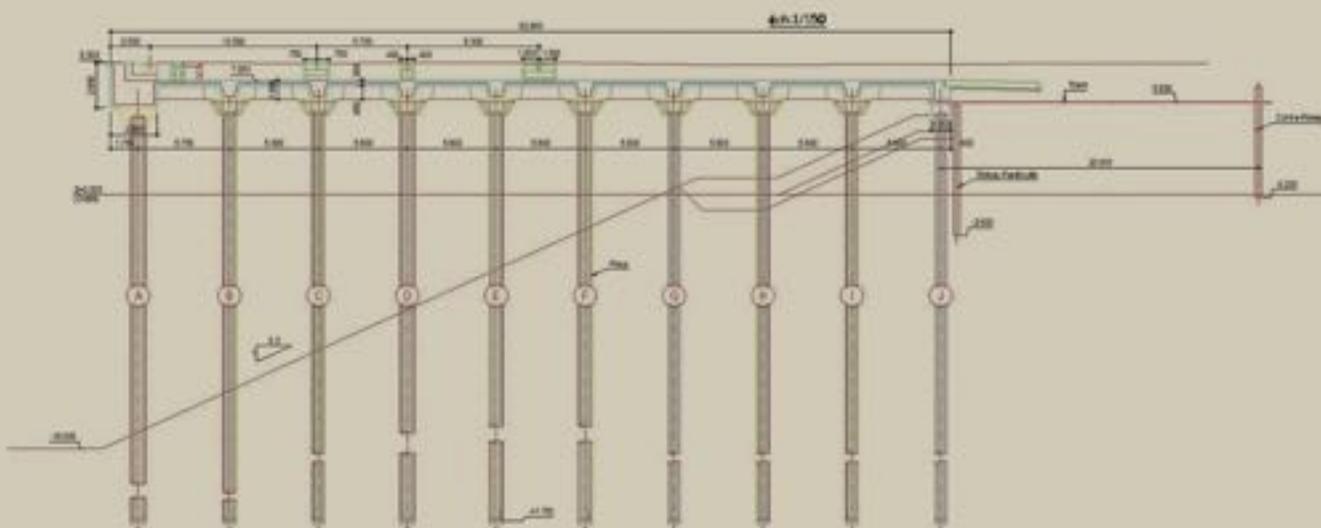
La plupart des travaux réalisés dans le cadre de ce chantier sont donc conduits en fonction des horaires des marées. Le niveau moyen de la Loire au droit du chantier est situé aux alentours de +3,5 m CM (cote marine). En fonction des coefficients de marée, le niveau de la Loire peut varier de la cote +0,5 m CM à la cote +6,5 m CM dans la journée.

Afin de répondre à ce besoin, le terminal construit se compose :

D'un terre-plein d'arrière-quai

Cette zone est en grande partie gagnée sur la Loire par remblaiements (apport de matériaux calibrés à 0 mm/200 mm sur environ 25 m de profondeur) puis confortée par un réseau de 800 inclusions rigides en béton de 36 m de longueur, afin de clouter le remblai apporté pour assurer sa stabilité et de limiter les tassements. La berge ainsi reprofilée est ensuite protégée par une carapace en enrochement entre 0 et +5,50 m CM. La plateforme de travail est établie à la cote +5,5 m CM. ▢

SECTION SIMPLIFIÉE DU PROJET



© BOUYGUES TP RF

3

Un rideau parafouille en palplanches métalliques de 8 m de hauteur, réalisé sous la poutre arrière du quai, constitue une barrière étanche évitant le passage des matériaux fins de la berge vers la Loire (effet d'affouillement).

Un contre-rideau discontinu, constitué lui aussi de palplanches métalliques, est positionné en arrière-quai, à environ 20 m de la poutre d'arrière-quai. Il permet l'ancrage des tirants fixés dans la poutre arrière du quai au droit de chaque file de pieux (56 tirants d'ancrage en tout), qui reprennent une partie des efforts induits par l'exploitation du quai, notamment les efforts d'amarrage.

Le quai

Le quai repose sur 583 pieux métalliques, sabotés en pied et remplis de béton, de près de 48 m de longueur, mis en œuvre sur 10 files transversales et 56 files longitudinales. Sur ces pieux, 1 200 éléments préfabriqués sont positionnés afin de constituer le tablier du quai. Une dalle en béton armé, liaisonnant l'ensemble des éléments, est ensuite réalisée jusqu'à la cote +7,2 m CM (figure 3). La structure de chaussée sur le quai est alors constituée, sur une hauteur de 1,1 m,



4 - Vue aérienne des travaux d'arrière quai. © BOUYGUES TP RF ET BALOON-PHOTO.COM

d'un remblai en grave non traitée, d'une couche de grave bitume et d'un enrobé à module élevé. Elle permet de passer l'ensemble des réseaux (secs et humides) nécessaires à l'exploitation du quai. Cette structure permet également de mieux répartir les charges d'exploitation transmises à la dalle du quai et de minimiser l'épaisseur ainsi que le ratio d'armatures du tablier en béton armé. Afin de répondre aux besoins des futurs exploitants, les 350 m d'extension sont divisés en 2 quais :

- À l'amont, un quai de 150 m de longueur, destiné à l'accueil de grands porte-conteneurs, étudié pour résister à des surcharges d'exploitation de 6 t/m².
- À l'aval, un quai de 200 m de longueur, destiné aux colis lourds expédiés par General Electric, étudié pour résister à des surcharges d'exploitation de 10 t/m² et comprenant une zone renforcée résistant à des surcharges de 15 t/m².

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Les rechargements destinés à avancer la berge d'environ 25 m vers la Loire conduisent à un apport important de matériaux de remblais sur une hauteur pouvant approcher 8 m, alors que le reprofilage en partie basse du talus et la création de la souille du futur quai nécessiteront un dragage en pied.

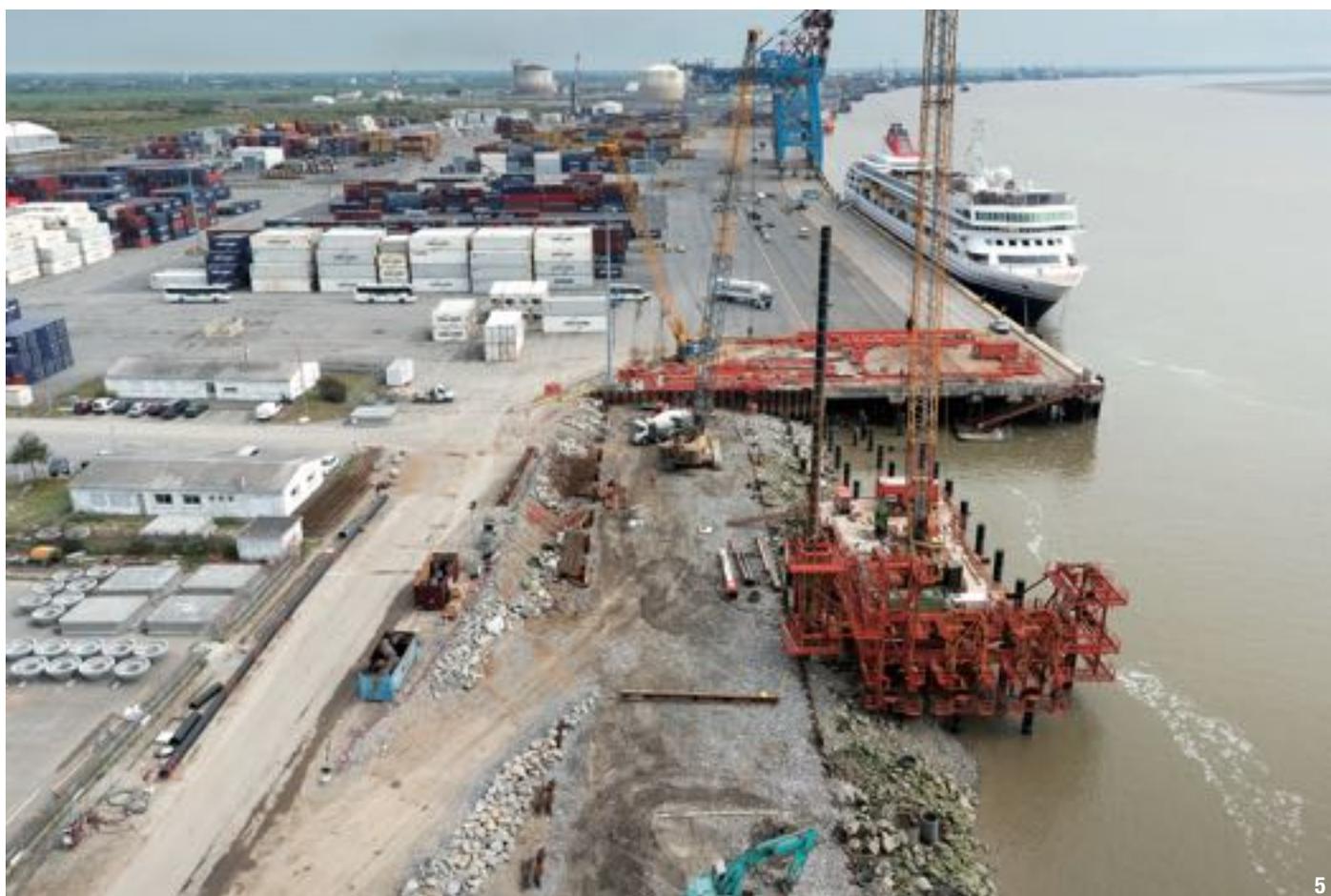
Afin de renforcer la stabilité générale du talus ainsi reconditionné (chargement en tête et déchargement en pied), de répondre aux problématiques d'évolution des tassements à court et long terme, mais également de clouter les cercles de glissement, un confortement de sol par un réseau d'inclusions rigides verticales est prévu sur une

4- Vue aérienne des travaux d'arrière quai.

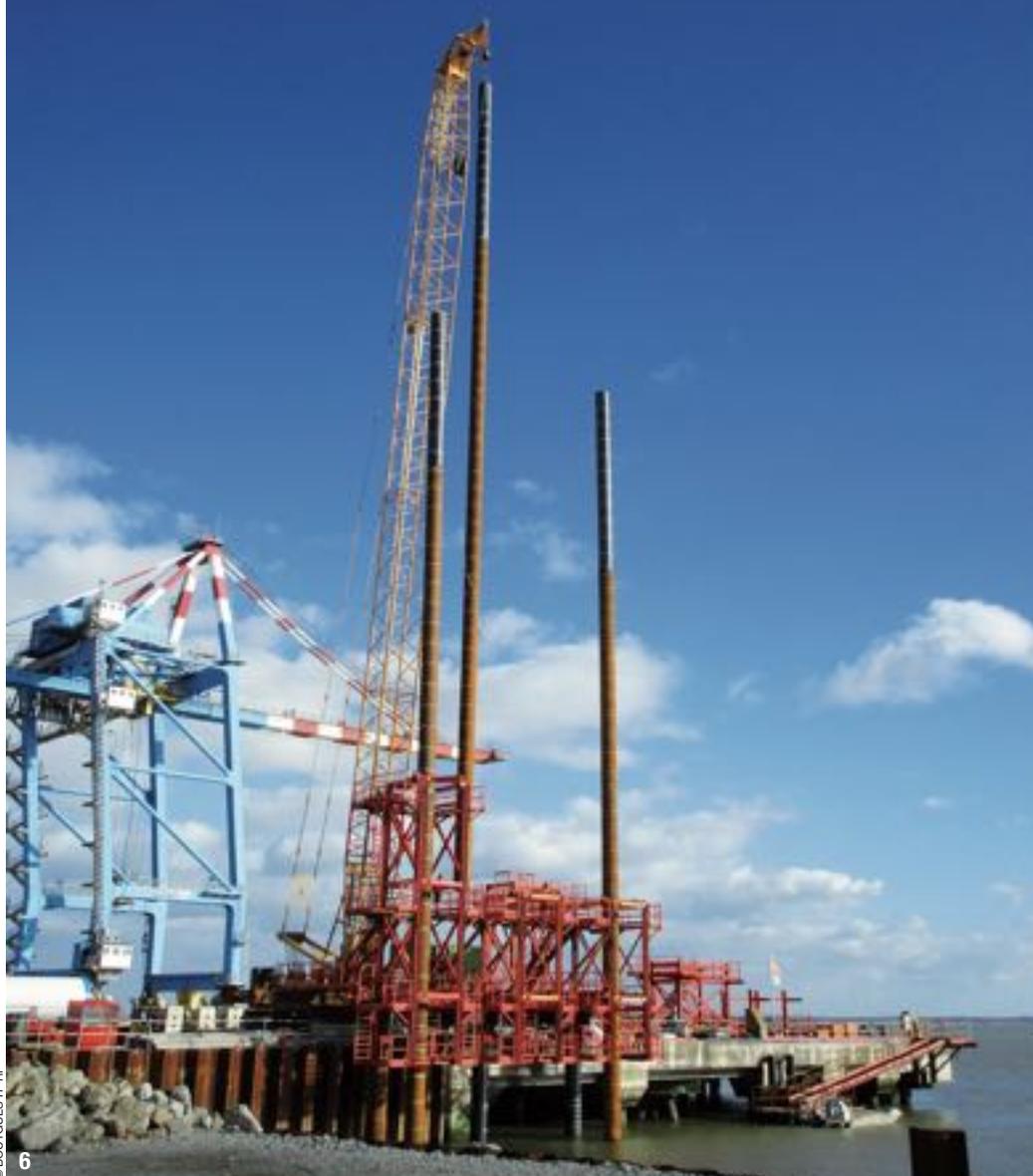
5- Vue aérienne de l'outil de battage.

4- Aerial view of work on the inner quay.

5- Aerial view of the pile driving tool.



5



© BOUYGUES TP RF
6

largeur d'environ 10 m à l'arrière du quai pour améliorer la portance des sols compressibles et réduire l'amplitude des tassements.

Le tassement sous l'effet du poids des remblais d'apport et des charges d'exploitation doit être limité à moins de 20 cm.

Le quai, quant à lui, est réalisé sur pieux car le contexte géologique du site ne se prête pas à des ouvrages de type quai gravitaire (quai poids), quai bloc ou

6- Mise en œuvre des tubes.

7- Vue aérienne de l'atelier de préfabrication.

6- Placing the tubes.

7- Aerial view of prefabrication equipment.

écran plan (parois moulées, caissons, etc.). Les reconnaissances géotechniques réalisées sur le site d'implantation du futur ouvrage permettent en effet de situer le toit du rocher à des profondeurs importantes (-41 m CM environ), et mettent en évidence une succession de couches de sol aux caractéristiques mécaniques médiocres (vase, sable, argile, jalles), nécessitant la mise en œuvre de fondations profondes fondées au substratum rocheux.



© BOUYGUES TP RF
7

LA RÉALISATION DE L'ARRIÈRE-QUAI

Les opérations de terrassements de la zone arrière-quai ont été réalisées par Bouygues Travaux Publics Régions France avec l'entreprise Keller, sous-traitant en charge de la réalisation des inclusions rigides sur l'ensemble du remblai mis en œuvre par Bytprf. La stabilité du talus en phase provisoire est un enjeu majeur pour la réussite de l'opération.

Toutes les dispositions ont donc été prises pour garantir la protection et la stabilité du talus lors des différentes phases de travaux. En particulier, le phasage a été adapté afin de maintenir la carapace en enrochement tout au long des opérations de battage et de pose du génie civil.

Ainsi, la constitution d'une plateforme de travail à la cote +5,5 m CM permet la réalisation des travaux d'inclusions depuis des plateformes découvertes plus de 7 heures par jour et en laissant le talus protégé par les enrochements.

Cette plateforme est réalisée par une pelle long bras qui met en œuvre les matériaux en pied de talus. Du fait du marnage, un tassement hydraulique s'effectue sur les premières couches de matériaux mises en œuvre.

Dès lors, la carapace de protection du talus constituée de bloc en enrochement est mise en œuvre. Cette phase est réalisée rapidement après la réalisation du remblai de berge à la cote +5,5 m CM, de façon à ne pas laisser un talus non protégé.

Une fois les travaux de remblaiement suffisamment avancés et la plateforme de travail établie, les inclusions rigides sont réalisées par un atelier spécifique selon un maillage de 2,5 m x 2,5 m. Elles ont un diamètre de 420 mm et sont calculées avec un ancrage de 0,50 m dans les sables inférieurs (premier horizon peu compressible). L'atelier d'inclusion est équipé d'un tube métallique obturé en pied vibrofoncé dans le sol jusqu'à la cote souhaitée (-31 m CM). L'obturateur est ensuite ouvert et la colonne est bétonnée à la remontée du tube métallique jusqu'à la cote +5 m CM (figure 4).

LES TRAVAUX DE BATTAGE

Pour la réalisation du battage, une réflexion a été menée sur une méthodologie industrielle qui permet de garantir la meilleure qualité de réalisation, de limiter les interfaces avec l'exploitation du port et de fiabiliser les délais de travaux.



8 © BOUYGUES TP-RF

Ces études ont conduit à retenir une approche exclusivement terrestre pour la réalisation des travaux du quai.

Ce mode de travail permet en effet de limiter les aléas liés aux contraintes du site (marnage, trafic maritime, courants, etc.).

De plus, cette méthodologie confère beaucoup plus de précision lors de la mise en œuvre des pieux battus et, permet ainsi d'ajuster la conception des pièces préfabriquées et d'en industrialiser la production, ce qui procure à l'ouvrage une durée de vie qualitativement supérieure.

Issu des principaux enseignements tirés de précédentes opérations similaires (terminal multivrac de Montoir, etc.), où l'avancement du chantier se faisait plutôt de la berge vers le large, le choix de rendre ces postes de travail complètement indépendants a pour but de limiter les aléas de réalisation et leurs conséquences sur le planning, en supprimant les liaisons conditionnées entre tâches et les interfaces entre les travaux de confortement de berges et de

pieux qui peuvent être sources d'aléas et de décalage de planning importants. En effet, il fallait attendre, dans ces précédentes configurations, que la berge soit complètement consolidée et aménagée pour que la grue de battage puisse s'approcher et ainsi mettre en place les pieux de la file arrière.

Dans le cas présent, la grue de battage étant positionnée sur un platelage situé en tête des pieux, elle n'apporte aucune charge sur le terre-plein arrière et, de fait, ne génère aucun risque de déstabilisation des berges.

Sachant que la mise en place des pieux conditionne le démarrage de tout le génie civil, il était important de dissocier la mise en place des pieux arrière des travaux de berge pour fluidifier et fiabiliser l'enchaînement des tâches. Pour la mise en place des pieux, le principe est d'utiliser un atelier complet indépendant, supporté par une structure métallique reposant sur les pieux déjà battus, et avançant de l'amont vers l'aval en partant du TMDC 4. Cet outil imaginé par les équipes

8- Équipage de pose des éléments.

8- Materials placing rig.

méthode de Bouygues Travaux Publics Régions France permettait de travailler sur 5 files de front (figure 5).

Les tubes, sabotés en pied et ouverts en tête, font 48 m de longueur. Ils ont été mis en œuvre par vibrofonçage puis par battage afin d'atteindre le substratum rocheux à la cote -41 m CM. Ces tubes ont ensuite été recépés à la cote +5 m CM.

La particularité du battage consistait à mettre en œuvre des tubes de 48 m, toute longueur, sans réaliser d'entures sur site, qui auraient immobilisé l'atelier de battage (figure 6).

Une fois mis en œuvre, les tubes étaient vidés en eau, ferrallés sur la hauteur libre puis bétonnés sur toute la hauteur.

LA PRÉFABRICATION DES ÉLÉMENTS DU QUAÏ

La solution mise en œuvre pour la réalisation de la superstructure en béton armé consiste à réaliser des caissons préfabriqués, qui comportent les poutres dans les 2 directions.

Cette solution, traditionnelle et éprouvée, a été adaptée pour limiter le poids de ces éléments qui dimensionne les engins de transport et de pose.

La dalle des caissons préfabriqués a une épaisseur faible (17,5 cm de hauteur), le reste de la dalle supérieure (dalle de compression) étant coulé en place suivant le principe des prédalles collaborantes.

Cette disposition est retenue pour l'ensemble des zones du chantier (cas de charges de 6 t/m², 10 t/m² et 15 t/m²). Les caissons préfabriqués reposent sur des chapiteaux tronconiques préalablement clavés sur les têtes de pieux. Une fois posés sur ces chapiteaux, les caissons sont clavés sur toute leur surface (y compris les retombées), ce qui confère un grand monolithisme à



© BOUYGUES TP-RF
9

la structure et limite les reprises de bétonnage transversales.

Dans ces opérations, un important noyau d'armatures se trouve concentré au droit des pieux.

Les études d'exécution menées par le bureau d'étude Cogeci avaient notamment pour mission d'aérer au maximum cette zone.

Les chapiteaux tronconiques, tels que prévus dans cette affaire, ont ainsi

9- Travaux de chaussée.

10- Vue aérienne du chantier en phase voirie.

9- Road works.

10- Aerial view of the site in the road works phase.

notamment pour vocation d'élargir la zone de clavage au droit des têtes de tube et donc d'agrandir la zone de ferrailage à cet endroit afin d'éviter les interférences d'armatures entre les dalles des caissons et les tubes en béton armé.

Pour plus de réactivité et une meilleure adaptation aux aléas du chantier, l'atelier de préfabrication a été installé à même le chantier (figure 7).

L'ensemble du projet a nécessité 1 200 éléments préfabriqués répartis en caissons, chapiteaux et éléments du front d'accostage.

Pour les travaux de pose du génie civil, le principe de réalisation est identique à celui des pieux : un atelier de pose des éléments préfabriqués a été conçu par le service méthode de Bouygues Travaux Publics Régions France. Cet équipement ripe via des vérins, en avançant sur les pieux précédemment mise en œuvre et recépés. Cette industrialisation de l'atelier de pose permet de travailler sur une structure fixe qui n'est pas soumise au marnage et protégée du battillage (figure 8).

LES TRAVAUX DE VOIRIE

Les travaux de voirie ont été réalisés sur ce projet par le cotraitant Colas. Une solution variante a été mise en œuvre avec un complexe de chaussée constitué d'une grave bitumineuse Colbase et d'un enrobé Multicol à très hautes performances (figure 9).

Ce complexe permet notamment de réduire significativement l'épaisseur des couches d'assise. Sur ce chantier, cela a permis le remplacement de 35 cm de grave-ciment par 12 cm de Colbase. La forte résistance à l'ornièrage et à la fatigue de l'enrobé Multicol ▷



© BOUYGUES TP-RF
10

permet de répondre aux sollicitations constantes induites par le passage régulier des engins de manutention sur le quai (figure 10).

LA MISE EN PLACE DE CAPTEURS DANS LE GÉNIE CIVIL

Issu de la collaboration entre l'Université de Nantes, Capacités et Keops, le projet IMARECO2 a été développé dans le cadre du chantier de quai de Montoir. Ce projet a pour but d'apporter de la haute technologie dans des structures de génie civil. L'objectif de cette instrumentation est de mieux comprendre l'influence du milieu salin mais aussi l'influence des charges lourdes sur ce type de quai.

Le premier thème suivi dans le cadre de cette instrumentation consiste à mesurer les déformations à l'intérieur de la structure.

Pour cela, des capteurs à fibre optique ont été noyés dans la structure du quai et permettent de suivre en temps réel les déformations subies par les poutres du génie civil. Ces données devront être reliées à l'exploitation du quai (apport de charges lourdes aux droits des poutres instrumentées) afin de permettre de connaître l'influence des charges lourdes sur les déformations du génie civil. Ces données seront exploitées et comparées avec les prédictions issues des calculs issus des normes.

Le second thème est de suivre le vieillissement de la structure lié à la pénétration des ions chlorure (issus du milieu salin) dans le béton armé. Ces ions étant en partie responsables de l'accélération de la rouille dans les armatures et donc l'endommagement



11- Mise en place de capteurs.

11- Placing sensors in position.

de la structure du quai. Des capteurs permettant de mesurer la présence des ions chlorure ont ainsi été mis en œuvre dans le génie civil (figure 11).

Ces instrumentations, dont la prise de données et l'exploitation nécessiteront plusieurs années, donnent des valeurs au cœur de la structure. Ils ont pour but final :

→ D'optimiser les dimensionnements des ouvrages en milieu marin ;

→ D'optimiser les maintenances par les clients. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LINÉAIRE DE QUAÏ : 350 m

REMBLAIS : 41 000 m³ de matériaux remblayés

INCLUSIONS RIGIDES : 35 m de profondeur, 700 unités

PIEUX MÉTALLIQUES : 483 tubes métalliques de longueur 48 m, 7 900 t d'aciers

BÉTON : 39 500 m³ de béton

ARMATURES : 5 000 t d'armatures

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE / MAÎTRE D'ŒUVRE : Nantes Saint Nazaire Port

ASSISTANCE À MAÎTRISE D'ŒUVRE : Arcadis

GROUPEMENT D'ENTREPRISE TITULAIRE DU MARCHÉ : Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire) - Colas

INCLUSIONS RIGIDES : Keller

BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURE : Cogeci

ABSTRACT

EXTENSION OF THE GENERAL CARGO AND CONTAINER TERMINAL AT MONTOIR-DE-BRETAGNE - CONSTRUCTION OF A LIVELY QUAY

SAMY RIFAÏ, BOUYGUES TP RF

Extension works on General Cargo and Container Terminal 4 at Montoir-de-Bretagne were performed by Bouygues Travaux Publics Régions France for Nantes Saint Nazaire Port. Together with construction of the quay founded on steel piles, the works also included the development of an open storage area, carried out by Bouygues TP RF assisted by Keller for the soil consolidation work. The road works were carried out by Colas. The tools and methods conceived and adopted on this construction site allowed all the equipment for this project to work at an industrial pace. Monitoring was organised in partnership with Nantes University to constantly follow up changes in the quay structure. The information obtained should eventually make it possible to optimise civil works on this type of structure. □

AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL DE MERCANCÍAS DIVERSAS Y CONTENEDORES EN MONTOIR-DE-BRETAGNE - LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE VIVO

SAMY RIFAÏ, BOUYGUES TP RF

Las obras de ampliación de la Terminal de Mercancías Diversas y Contenedores 4, situada en Montoir-de-Bretagne, por encargo de Nantes Saint Nazaire Port, fueron realizadas por los equipos de Bouygues Travaux Publics Régions France. Asociadas a la realización del muelle sustentado sobre pilotes metálicos, las obras incluyen también la realización de un terraplén, a cargo de los equipos de Bouygues TP RF, acompañados por Keller para la consolidación del suelo. Las obras viales fueron realizadas por la empresa Colas. Las herramientas y métodos imaginados y aplicados en esta obra han permitido garantizar una cadencia industrial al conjunto de los talleres del proyecto. La realización de un seguimiento en colaboración con la Universidad de Nantes permitirá controlar de forma continua la evolución de la estructura del muelle. Las conclusiones extraídas deberán permitir optimizar la ingeniería civil en futuras obras de este tipo. □



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

SANTÉ
PRÉVOYANCE
RETRAITE
ÉPARGNE
ASSURANCES
ACTION SOCIALE
VACANCES

PRO BTP
GROUPE



PRÉSERVONS L'AVENIR



Travaux de déplacement de digues suite au passage de la nouvelle ligne TGV sur la rive droite et la rive gauche du Vidourle.

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

Lunel, Hérault
Gallargues le Montueux, Gard
Matelas Reno® et gabions double torsion : 10 000 m³
Biomac® (géotextile en fibres coco) : 4000 m³

www.maccaferri.com/fr