

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**L'EAU - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX.** ORIGINALITE DES SYSTEMES MECANQUES. CONSTRUCTION D'UN PORT A CONTENEURS. PORT DE COTONOU : CONSTRUCTION DE DEUX NOUVEAUX POSTES A QUAI. LUTTE CONTRE LES INONDATIONS. FONDATIONS D'UN PONT LEVANT. MODERNISATION D'UN POSTE PETROLIER. MEMORIAL A L'ABOLITION DE L'ESCLAVAGE A NANTES. MODERNISATION DES INFRASTRUCTURES DU PORT DE DIEPPE

N° 878 FÉVRIER 2011



BLUE RING,  
UN CONCEPT INNOVANT  
DE PORT DE PLAISANCE  
© Blue Ring

Directeur de la publication  
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée  
Rédactrice en chef

Mona Mottot

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03

Email : mottotm@fntp.fr

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction  
Grands Projets), Jean-Bernard Datry  
(Setec TPI), Stéphane Monleau  
(Solétanche Bachy), Bruno Radiguet  
(Bouygues), Jacques Robert (Arcadis  
ESG), Claude Servant (Eiffage TP),  
Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis  
(Egis), Michel Duviard (Egis), Florent  
Imberly (Razel), Mona Mottot (FNTF)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction

Marc Montagnon,

Monique Trancart

Secrétariat de rédaction

Julia Deck

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

Email : revue-travaux@cometcom.fr

France (10 numéros) : 190 € TTC

International (10 numéros) : 240 €

Enseignants (10 numéros) : 75 €

Étudiants (10 numéros) : 50 €

Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

Multi-abonnement : prix dégressifs

(nous consulter)

Publicité

Régie Publicité Industrielle

Xavier Bertrand - Nourredine Bennai

9, bd Mendès France

77600 Bussy-Saint-Georges

Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27

Email : bertrand@rpi.fr - bennai@rpi.fr

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

Réalisation et impression

Com'1 évidence

8, rue Jean Goujon - 75008 Paris

Tél. : +33 (0)2 32 32 03 52

Email : contact@com1evidence.com

Maquette

Idé Edition

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

Editions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0111 T 80259  
ISSN 0041-1906

## LE TRAMAF : UN SYNDICAT DE SPÉCIALISTES EN ACTION



Ce numéro spécial de la revue « Travaux » consacré aux Travaux Maritimes et Fluviaux est l'occasion donnée au TRAMAF (travaux maritimes et fluviaux), syndicat de spécialité membre de la FNTF, de mettre en lumière nos activités et le rôle joué par nos Entreprises pour le développement national et international de notre Pays.

Si en France, la part de nos prestations maritimes et fluviales en termes de chiffre d'affaires est plutôt faible, de l'ordre d'un milliard d'euros par an, nos réalisations restent essentielles pour faire face à la croissance des échanges maritimes et fluviaux à travers le monde.

La décennie écoulée est le témoin de ces grandes réalisations qui permettent de réduire l'écart sur l'outil industriel portuaire avec les Pays du Nord. La plupart de nos Entreprises, PME ou filiales de grands groupes, a participé aux travaux d'extension du port du Havre – projet Port 2000 – qui permet d'accueillir désormais des navires de nouvelle génération, type Over Panamax. À cette réalisation majeure, il faut ajouter les travaux de 2 XXL à Fos-sur-Mer pour la création de deux quais et l'approfondissement de la Darse 2, et bien d'autres réalisations qui contribuent au commerce intérieur et aux activités de plaisance.

Ces réalisations démontrent le savoir-faire et les compétences de nos Entreprises qui interviennent dans le domaine fluvial ou maritime pour mener à bien : le génie civil spécifique (battage de pieux et palplanches, ouvrages immergés en béton), les dragages de tous types de sols, les prestations de protection de berges et d'endiguement ainsi que les travaux aquatiques.

Ce vaste domaine d'activités nécessite de nos Entreprises des équipements toujours plus modernes et spécialisés, ainsi qu'une formation permanente de nos personnels d'exécution et d'encadrement, adaptés aux besoins des marchés publics pour répondre sans cesse à l'innovation et à l'anticipation des demandes de nos clients.

Pour agir, le TRAMAF s'est engagé dans le sillage du Grenelle de la Mer pour être force de propositions et démontrer que l'environnement est au cœur de nos Entreprises. Tous nos projets sont impactés pour la sauvegarde de l'environnement notamment les chantiers de dragage souvent pointés du doigt et peu appréciés par la société civile. Le TRAMAF s'est également engagé à souscrire à la Convention d'Engagement Volontaire, document qui fédère toutes les actions pour la sauvegarde de l'environnement sous l'égide de la Fédération Nationale des Travaux Publics.

Pour rester à l'avant-garde de nos métiers et des futurs projets, le TRAMAF contribue aux commissions d'environnement durable orchestrées par la FNTF, participe au Comité d'Orientation du CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales) et à divers groupes de travail de l'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation (AIPCN) dans divers domaines qui contribuent à l'évolution de nos métiers ; enfin, le TRAMAF siège à l'association Provoideau, comité de liaison pour la promotion de la voie d'eau.

Les membres de notre syndicat, de plus en plus nombreux, sont par conséquent motivés pour participer pleinement à la croissance et au développement du pays, et répondre à tous les enjeux techniques et environnementaux que l'État et les Collectivités Territoriales voudront bien leur soumettre pour soutenir leur indispensable niveau d'activités.

**DIDIER POISSONNIER**  
PRÉSIDENT DU TRAMAF, SYNDICAT DES TRAVAUX MARITIMES  
ET FLUVIAUX DE LA FNTF

# BLUERING

## UN CONCEPT INGÉNIEUR POUR L'AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE PORTUAIRE

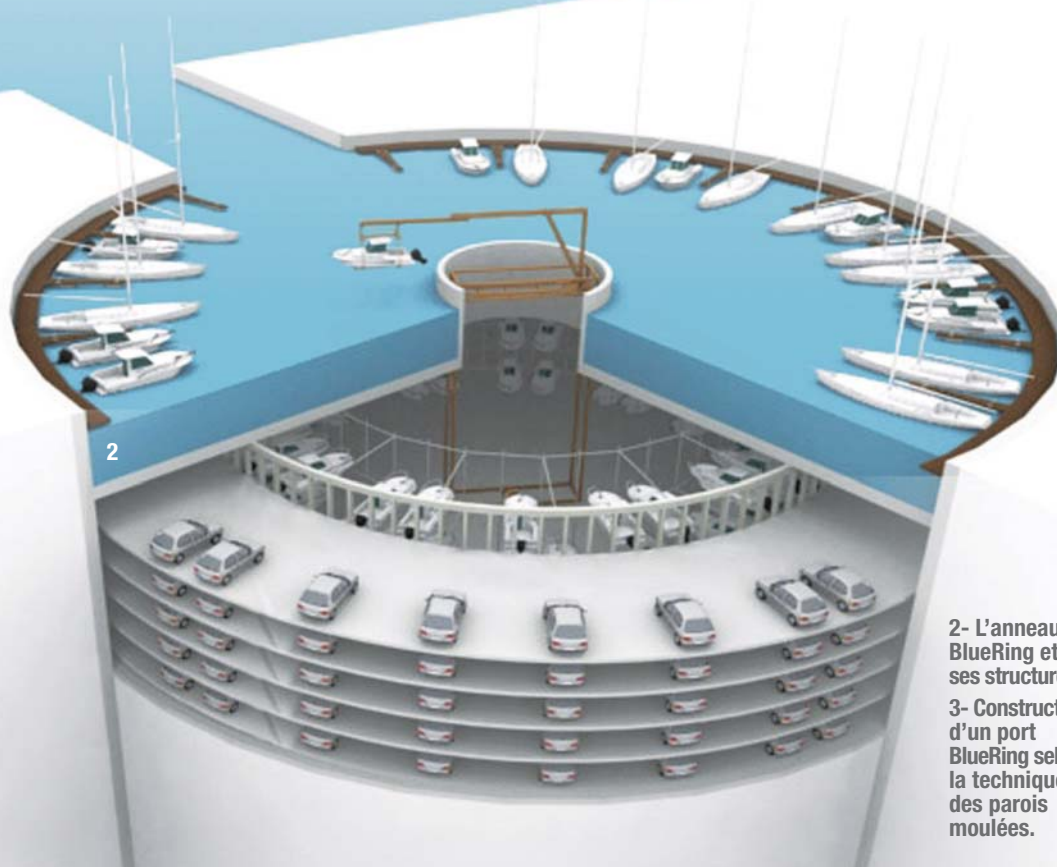
REPORTAGE DE MONA MOTTOT

ALORS QUE LE NOMBRE DE BATEAUX DE PLAISANCE NE CESSE DE CROÎTRE ET QUE LA RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE FREINE CONSIDÉRABLEMENT LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX COMPLEXES PORTUAIRES POUR LES ACCUEILLIR, LA SOCIÉTÉ BLUERING PROPOSE AUJOURD'HUI UNE SOLUTION AMBITIEUSE ET RÉALISTE : CONSTRUIRE UN SILO CYLINDRIQUE ET VERTICAL POUVANT ABRITER UN PARKING SOUTERRAIN POUR DES DIZAINES DE BATEAUX, INDUISANT AINSI UN GAIN DE PLACE CONSIDÉRABLE SUR LE LITTORAL NATUREL.



1- Vue en coupe du procédé BlueRing : l'espace portuaire prolonge naturellement l'espace urbain, tout en abritant des infrastructures de parkings et de services.

© BLUERING



2- L'anneau BlueRing et ses structures.  
3- Construction d'un port BlueRing selon la technique des parois moulées.

## BLUERING SAS : LES ÉTAPES-CLÉS

**2006** : Dépôt du brevet BlueRing inventé par Damien Grimont et détenu par Solétanche Bachy qui cède à l'inventeur l'exclusivité de la commercialisation du brevet.

**2007** : Création de BlueRing, une SAS indépendante dont Damien Grimont est l'actionnaire majoritaire. Maturation du projet en collaboration avec deux partenaires essentiels : SCE, société d'ingénierie pour la réalisation des études en amont de la commercialisation et la maîtrise d'œuvre, et Solétanche Bachy pour la réalisation des travaux de génie civil.

**2008** : Labellisation par le PGCE (Pôle Génie civil Ecoconstruction) du programme de recherche-développement MAREVA (Maquette de Réalisation Virtuelle des Aménagements portuaires). BlueRing est primé par Design'in Pays de la Loire 2008.

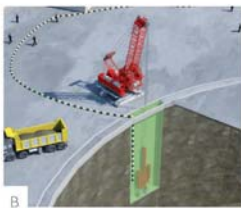
**2009** : MAREVA obtient un financement FUI (Fonds unique interministériel) destiné à soutenir le développement collaboratif de nouveaux produits susceptibles d'être mis sur le marché à court ou moyen terme.

**2012** : Enclenchement d'une première réalisation dans le cadre de MAREVA.

3



A



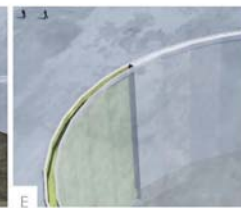
B



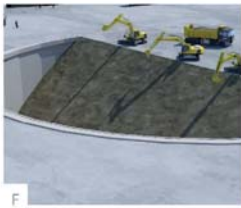
C



D



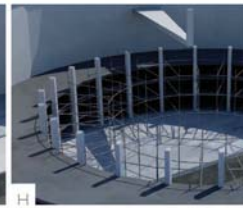
E



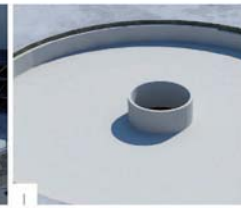
F



G



H



I

### LE PHASAGE DES TRAVAUX

- A - Murette guide
- B - E - Paroi moulée – formation de l'anneau, panneau par panneau
- F - Excavation des terres
- G - Réalisation du radier de fond de fouille
- H - Création du parking hélice et du port à sec et mise en place de la grue
- I - Réalisation de la dalle de fond de bassin et du puits de lumière
- J - Création des pontons du port à flots et ouverture du bassin



J

FIGURES 2 & 3 © BLUERING

## UNE TRÈS FORTE DEMANDE, UNE OFFRE INSUFFISANTE

Le marché de la plaisance nautique, tant des bateaux à voile que des bateaux à moteur, est en plein essor, et le manque de places dans les ports, à flot ou à sec en France et à l'étranger se fait cruellement sentir.

Selon une enquête réalisée par la Fédération des Industries Nautiques sur l'ensemble du littoral français, il manquerait 55 000 places de mouillage, et plus de 70 000 demandes d'amarrage sont répertoriées sur listes d'attente. Et ce besoin de places de bateaux va croissant, avec le développement

mondial du tourisme et de la plaisance. Aujourd'hui, force est de constater que ces demandes sont loin d'être satisfaites, même si les ports multiplient les places de mouillage qui ont forcément un impact sur l'environnement (emprise foncière, intégration au paysage, pollution...). De plus, la réglementation

actuelle et les volontés politiques affirmées pour le développement durable rendent difficile l'extension ou la construction de nouveaux ports traditionnels en bord de mer. En effet, dans les zones urbanisées du littoral, la pression foncière confrontée à la place nécessaire à de tels ports rend tout

## MAREVA : UN PROJET COLLABORATIF D'INNOVATION (2009-2012)

Dans le cadre du 7<sup>e</sup> appel à projets du FUI – DGE, MAREVA est un projet collaboratif associant acteurs académiques et industriels dont les objectifs visent à optimiser le procédé BlueRing au moyen d'une maquette technique 3D virtuelle intégrant l'ensemble de ses systèmes.

LE PROGRAMME COMPORTE 4 AXES DE RECHERCHE :

- **Structure Génie civil** : les recherches sur les matériaux visent à améliorer les performances mécaniques, de durabilité et d'étanchéité.
- **Porte d'accès au bassin** : pour résister aux contraintes et contribuer à l'auto-nettoyage du port, les recherches porteront sur la forme et le fonctionnement de la porte de bassin, ses matériaux constitutifs et son calcul.
- **Bassin « autonettoyant »** : modélisation numérique fine et expérimentation en bassin pour simuler la circulation des masses d'eau et valider l'efficacité du désenvasement.
- **Port à sec** : l'optimisation de la capacité de stockage conduit à rechercher des éléments mécaniques innovants tels qu'une fourche télescopique de grande portée ou un nouveau système de levage des bateaux.

LE CONSORTIUM REGROUPE 5 ENTREPRISES ET 3 LABORATOIRES :

### ENTREPRISES

- **Coordinateur technique du projet** : BlueRing.
- **SCE**, conseil et ingénierie en aménagement du territoire et en gestion de l'environnement. **Coordinateur administratif et financier.**
- **Créocéan**, conseil et ingénierie en environnement littoral et marin.
- **Solétanche Bachy**, entreprise générale de fondations et de technologies du sol.
- **Maum**, spécialiste des systèmes de manutention et de stockage automatisés.

### LABORATOIRES

- **Le GeM (École Centrale de Nantes et Université de Nantes)** mène les recherches en génie civil de la structure en béton, sur la formulation des composites de la porte d'accès au bassin, sur le calcul des efforts sur la porte et la structure.
- **Au LMF (Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'École Centrale de Nantes)**, l'équipe hydrodynamique et génie océanique est en charge des études et simulations hydrodynamiques du bassin autonettoyant.
- **Le Laboratoire de planétologie et géodynamique de l'université de Nantes** pilote les études et simulations hydro-sédimentaires du bassin autonettoyant.

Source : PGCE



FIGURES 4 A 7 © BLUERING

projet difficile à mettre en œuvre voire impossible. Dans ce contexte, comment satisfaire une demande de plus en plus pressante ?

### BLUERING : UN PROCÉDÉ INNOVANT POUR L'AMÉNAGEMENT PORTUAIRE

Le concept de port BlueRing a pour vocation de pallier en partie au déficit

d'emplacements pour bateaux en proposant une solution adaptée aux problèmes de construction de nouveaux ports. Il s'agit de créer une infrastructure sous le niveau de la mer : un silo cylindrique de grand diamètre, vertical, destiné à devenir un vrai port à sec automatisé, à l'instar d'un parking souterrain de voitures. L'infrastructure est surmontée d'un port à flot, bassin circulaire ou

elliptique de grand diamètre pouvant accueillir des dizaines de bateaux. Le diamètre du bassin et sa profondeur sont modulables. Il est même possible de construire côte à côte plusieurs cylindres reliés entre eux par un canal en surface (figure 2). Cette disposition optimise l'espace alloué, augmente considérablement la capacité d'accueil par rapport à un

port classique, et limite l'impact visuel et environnemental de « garage à bateaux ». L'originalité de l'approche est l'utilisation de la technique des parois moulées dites autostables, largement éprouvée dans le monde de la construction (puits d'accès pour tunneliers, bassins d'orage, parkings souterrains, murs de quais portuaires...) mais encore inutilisée

4- Les infrastructures sous le port à flot.

5- Le port à sec automatisé.

6- Mise à l'eau à l'aide d'une grue centrale d'un bateau « garé » à sec.

7- BlueRing équipé d'un amphithéâtre nautique peut se transformer en site événementiel : départ de régates, spectacles nautiques...

à ce jour pour créer des infrastructures portuaires de forme circulaire (figure 3). Le concept BlueRing a fait l'objet en 2007 d'un dépôt de brevet (Brevet n°FR2893043 du 11.05.07).

#### UN CONCEPT QUI S'INSCRIT DANS LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Outre le nouveau mode économique de construction qu'il propose, le procédé BlueRing peut être mis en œuvre sur des terrains sédimentaires habituellement considérés sans valeur, voire impropres à la construction d'ouvrages portuaires.

Autre atout de taille, la forme circulaire du bassin permet d'envisager de créer des « bassins autonettoyants » limitant l'envasement et s'affranchissant ainsi des contraintes de dragage et d'élimination des vases.

Par ailleurs, la dimension verticale de BlueRing permet de concevoir des ouvrages enterrés intégrés : des bassins d'orages, des parkings et services portuaires... voire une salle polyvalente ou des espaces événementiels destinés à animer et enrichir la vie culturelle locale (figures 4 à 6).

L'ambition de BlueRing est également de proposer un port avec un nouveau mode de circulation où l'espace portuaire n'est plus réservé qu'aux plaisanciers mais s'inscrit comme une continuité de l'espace urbain. Il permet de « faire rentrer le port dans la ville » en créant des terre-pleins destinés aussi aux piétons, qui bénéficient d'un espace de circulation autour des bateaux et s'approprient ainsi l'espace portuaire (figure 7). □

## QUESTIONS À DAMIEN GRIMONT, PRÉSIDENT DE BLUERING



© BLUERING

Ingénieur ESTP, diplômé IAE Paris, mais aussi skipper et organisateur de courses à la voile, Damien Grimont dirige la société nantaise BlueRing qu'il a créée en 2007.

Passionné, organisé, endurant, il vient de se qualifier à la 5<sup>e</sup> place de la Route du Rhum. Des qualités essentielles pour mener à bien le développement de sa jeune entreprise.

#### Quels sont vos objectifs en termes de développement commercial ?

Mon principal objectif aujourd'hui est de donner une réalité commerciale au concept breveté BlueRing. Pour ce faire, plusieurs actions sont menées de front.

→ Tout d'abord, parachever le programme recherche-développement MAREVA (2009-2012) labellisé par le pôle PGCE, destiné à optimiser le concept global BlueRing.

→ Multiplier les contacts auprès des maîtres d'ouvrage dans les secteurs maritime et fluvial, afin de faire connaître le concept pour favoriser son développement, en France mais aussi à l'international.

→ Fédérer des partenaires susceptibles de répondre en groupement aux futurs appels d'offres.

→ Et bien sûr construire des ports BlueRing en France à moyen terme, puis à l'international à plus long terme.

#### Quelles sont les difficultés que vous rencontrez ?

Aujourd'hui, les maîtres d'ouvrage des secteurs maritime et fluvial ne disposent pas de réalisation-référence concernant le procédé BlueRing considéré comme une innovation. Ils n'intègrent donc pas cette solution dans leurs appels d'offres liés à la réparation ou au développement des ports, ce qui nous met dans l'impossibilité d'y soumissionner. Les projets sont donc réalisés selon d'autres solutions : c'est le principal écueil au développement commercial du procédé.

Il est donc nécessaire de multiplier les contacts avec ces maîtres d'ouvrage et les convaincre de

« **BLUERING EST UNE SOCIÉTÉ INDÉPENDANTE POUVANT ASSURER LA MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR L'AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE PORTUAIRE. NOTRE OBJECTIF : TRANSFORMER L'ESPACE UTILITAIRE EN RÉEL ESPACE DE VIE** »

tout l'intérêt du concept BlueRing, en amont du lancement de leurs appels d'offres.

Ainsi par exemple, l'État et Voies Navigables de France devraient investir, entre 2010 et 2013, plus de 920 millions d'euros pour la modernisation du réseau fluvial. Nous multiplions donc les échanges avec les maîtres d'ouvrages de ce secteur, afin qu'ils soient au fait de ce procédé avant le lancement des projets et intègrent cette solution dans leurs appels d'offres publics.

#### Le concept BlueRing peut se prêter à un marché clés-en-main, puisque des groupes de renom seraient prêts à travailler en partenariat avec la société BlueRing ?

Dans ce cas, nous sommes confrontés à un autre type de difficultés liées au code des

marchés publics : la France n'est pas adaptée aux projets clés-en-main car les marchés publics sont segmentés entre la maîtrise d'œuvre et la réalisation des travaux, ce qui rend tout projet clés-en-main (conception-réalisation) particulièrement difficile à monter, d'autant que les maîtres d'ouvrage publics concernés en connaissent peu ou mal les mécanismes. L'une des solutions serait d'avoir l'appui d'un grand groupe industriel susceptible de peser de tout son poids pour convaincre les instances concernées de s'engager dans des partenariats public-privé (PPP). Nous étudions également la possibilité de monter des projets clés-en-main à l'international, dans les pays où ce type de PPP est pratiqué, comme au Royaume-Uni par exemple, avec les montages PFI (private finance initiative).

#### Quelles sont les réalisations sur lesquelles vous tablez aujourd'hui ?

Des projets engagés depuis plusieurs mois sont bien avancés et ont toutes les chances d'aboutir à moyen terme, notamment sur la côte Atlantique et la Côte d'Azur où ils trouvent un écho très favorable auprès des collectivités concernées. Quelques difficultés juridiques inhérentes à la réglementation française sont en passe d'être résolues avant de voir ces projets aboutir. Par ailleurs, nous multiplions les contacts à l'international, et des brevets ont été déposés couvrant l'Europe, les États-Unis, les Émirats arabes unis, l'Asie du Sud-Est...

Plus d'informations sur [www.bluering.fr](http://www.bluering.fr)



1- Ouvrage  
du Libron –  
vue générale  
depuis le canal.

1- Libron  
structure –  
general view  
from the canal.

© SETEC TPI

# ORIGINALITÉ DES SYSTÈMES MÉCANIQUES LIÉS À LA VOIE D'EAU, DU DIAGNOSTIC À LA RÉPARATION

AUTEURS : BRUNO SOLER, INGÉNIEUR PRINCIPAL, SETEC TPI - EN COLLABORATION AVEC : DAVID RANFAING, VNF, DIRECTION INTERRÉGIONALE SUD-OUEST, SUBDIVISION LANGUEDOC EST (BÉZIERS) ; ALAIN HERR ET SÉBASTIEN COLLARD, VNF, DIRECTION INTERRÉGIONALE RHÔNE-SAÔNE-MÉDITERRANÉE, SUBDIVISION DE CHALON-SUR-SAÔNE ; JEAN-DENIS JABRAUD, VNF, DIRECTION INTERRÉGIONALE SUD-OUEST, SUBDIVISION DU TARN-ET-GARONNE (MOISSAC)

LES VOIES DE NAVIGATION COMPORTENT DE NOMBREUX SYSTÈMES MÉCANIQUES ORIGINAUX, INGÉNIEUX MAIS SOUVENT ÂGÉS. LEUR VIEILLISSEMENT ET LES RÉGLEMENTATIONS ACTUELLES IMPOSENT DES TRANSFORMATIONS LOURDES. MAIS LA PLACE DE CES OUVRAGES DANS LE PATRIMOINE HISTORIQUE INTERDIT SOUVENT DE MODIFIER EN PROFONDEUR LEUR APPARENCE. LE BUREAU D'ÉTUDES CHARGÉ DU DIAGNOSTIC ET DES ÉTUDES DE MODERNISATION DOIT PRENDRE EN COMPTE L'ENSEMBLE DE CES CONTRAINTES. SETEC TPI A MENÉ À BIEN CETTE MISSION POUR TROIS OUVRAGES EN PARTICULIER : LE PONT-CANAL MOBILE DU LIBRON, LE SLIPWAY DE CHALON-SUR-SAÔNE ET LA PENTE D'EAU DE MONTECH.

## DES INVENTIONS SÉCULAIRES

Les cours d'eau et canaux de navigation sont parsemés d'installations reflétant l'ingéniosité des concepteurs de différentes époques, tout particulièrement dans le domaine des systèmes mécaniques. Ce propos s'illustre à travers trois ouvrages exploités par Voies navigables de France (VNF), sur lesquels Setec TPI a conduit des missions de diagnostic et d'études de réhabilitation. Mis en service à plus d'un siècle d'intervalle, ils se trouvent tous confrontés à un besoin de modernisation rendu nécessaire par leur âge et l'évolution des conditions d'exploitation. Il s'agit :

→ De l'ouvrage du Libron (photo 1), mis en service en 1858 : « passage à niveau » entre deux voies d'eau fonctionnant depuis 150 ans ;

→ Du slipway de Chalon-sur-Saône (photo 2), mis en service en 1949 : cinématique complexe pour la manutention des bateaux ;

→ De la pente d'eau de Montech (photo 3), mis en service en 1974 : concept quasi-unique de franchissement d'une dénivelée.

## L'OUVRAGE DU LIBRON : UN TORRENT DANS LE CANAL DU MIDI

À proximité de Vias (Hérault), le canal du Midi croise le ruisseau torrentiel du Libron, qui rejoint ensuite le golfe du Lion. Ce cours d'eau, paisible en été, connaît suite aux pluies d'automne des crues importantes (jusqu'à 338 m<sup>3</sup>/s en crue centennale), charriant quantité de débris et de limons.

Dans les premiers temps de l'existence du canal, le Libron s'écoulait librement dans la plaine de Vias, provoquant de fréquentes et violentes inondations. Souhaitant la mise en valeur des terres, les exploitants agricoles créèrent un lit artificiel où les eaux, après un passage dans un bassin de décantation, se déversaient dans le canal. Les alluvions envasèrent le canal à plusieurs reprises, entraînant des travaux coûteux de remise en état. À partir de 1757, les ingénieurs et responsables du canal bâtirent plusieurs projets pour faire face à ces difficultés.

Le système actuel, construit entre 1855 et 1858 sous la direction de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Urbain Maguès - directeur du canal du Midi, est un pont-bâche mobile qui permet au torrent en crue de passer au-dessus du canal. Il est constitué de deux groupes de six pertuis espacés d'une longueur de bateau, ce qui permet de maintenir la navigabilité du canal tant



que le débit de la crue n'impose pas la mise en service des deux groupes (figure 4). Hors des périodes de crue, le débit usuel du Libron (jusqu'à 10 m<sup>3</sup>/s) transite sous le canal par un siphon construit en 1968. Les bâches mobiles, les tabliers et les vannes levantes sont actionnés manuellement, selon un principe qui n'a pas évolué depuis la mise en service de l'ouvrage (photo 5). Les deux bâches de chaque pertuis sont suspendues à des chariots de roulement sur rails qui permettent :

→ Soit leur logement dans le vide des pertuis hors du canal, et d'assurer alors, avec les vannes fermées, le passage des bateaux sur le canal ;

→ Soit leur jonction bout à bout dans l'axe du canal, pour assurer ainsi, avec les vannes ouvertes, l'écoulement des eaux du Libron au-dessus du canal sans qu'il en résulte le moindre ensablement.

Les tabliers (ponts-levis) servent à raccorder les têtes des pertuis avec les bâches amenées au milieu du canal. Ils sont manœuvrés via des treuils à

**2- Slipway de Chalon-sur-Saône – vue générale.**  
**3- Pente d'eau de Montech – vue d'ensemble, masque relevé.**

**2- Chalon-sur-Saône slipway – general view.**  
**3- Montech water slope – overall view, water gate raised.**

chaîne, munis de freins à bandage métallique pour les retenir lors de la descente.

## AMÉLIORER LA SÉCURITÉ

Entre 2008 et 2009, Setec TPI a assuré une mission d'études comportant :

→ Un diagnostic en matière de sécurité et d'exploitation ;

→ La définition et l'assistance à maîtrise d'œuvre pour la mise en sécurité de l'exploitation ;

→ L'étude de faisabilité de plusieurs solutions de modernisation, y compris pour le système d'alerte de crue.

Le fonctionnement et les méthodes de manœuvre des organes mobiles n'ayant pas changé depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les exploitants de l'ouvrage sont régulièrement exposés à des situations pénibles, voire dangereuses : efforts de manutention importants, risques de chutes, interventions sans visibilité, risques de noyade lors des opérations de dégagement des embâcles (déchets bloquant le passage de l'eau).

Une fois identifiées les possibles actions de suppression ou de diminution notable des risques encourus par les personnels, elles ont été hiérarchisées par le recours à une matrice de criticité (figure 6). Cette approche d'aide à la décision, bien que classique, a dû ici être fortement pondérée en raison du caractère patrimonial unique de l'ouvrage, qui bénéficie d'une double protection : d'une part au titre de l'inscription au patrimoine mondial de l'Unesco (comme l'ensemble du canal du Midi), d'autre part au titre de la préservation des monuments historiques (inscription à l'ISMH). Ces contraintes ont conduit, dans certains cas, à la recherche de solutions palliatives, ou à des prescriptions techniques spécifiques destinées à limiter fortement l'impact visuel des dispositions de sécurité envisagées.

## MODERNISATION À LONG TERME

Pour la recherche de solutions de modernisation à plus long terme, les options proposées par Setec TPI ont résulté de la confrontation des trois principales contraintes suivantes :

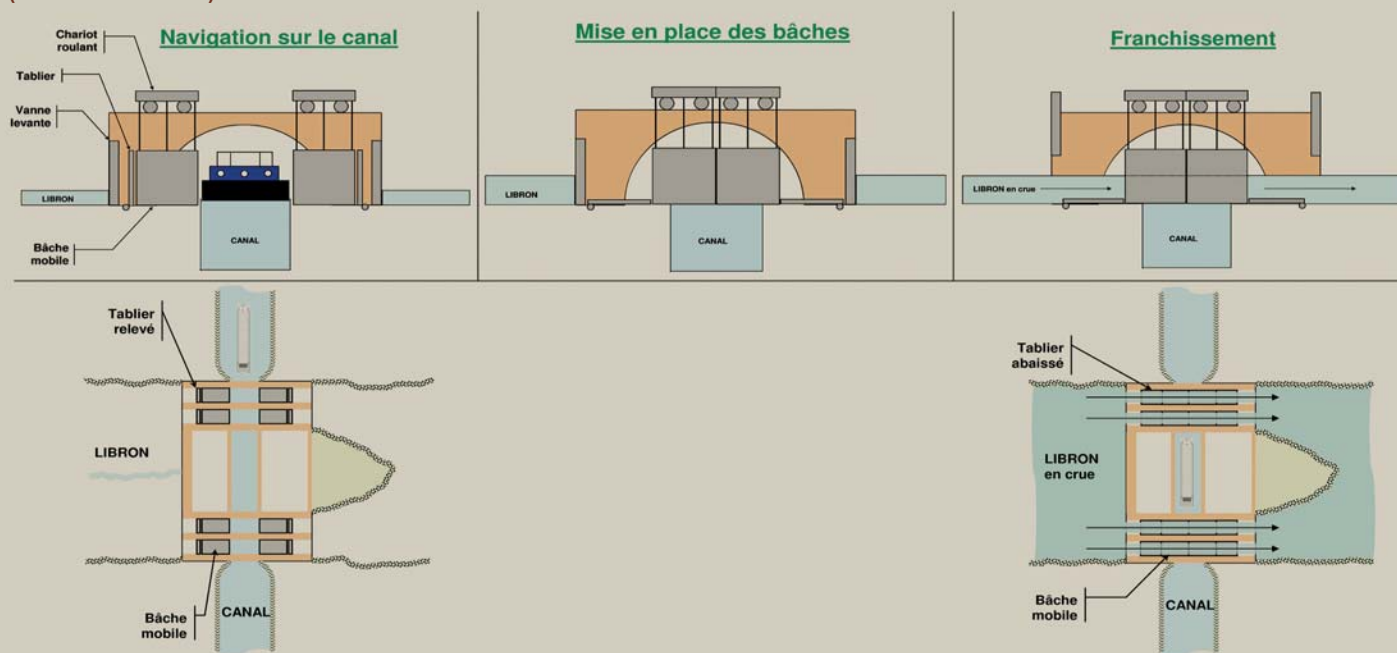
→ La nécessaire mise en conformité vis-à-vis de la réglementation des conditions de travail des exploitants ;

→ La quasi-impossibilité de supprimer ou de modifier en profondeur l'installation existante, dont l'intérêt patrimonial réside non seulement dans ses structures fixes et mobiles, mais également dans ses mécanismes ;

→ La difficulté, liée aux altitudes respectives des deux voies d'eau, à faire ▷



## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE DU LIBRON (COUPE SUR UN PERTUIS)



transiter le Libron par-dessus (pont-canal fixe) ou par-dessous (aqueduc), comme cela existe pour les autres cours d'eau croisant le canal du Midi. Le franchissement à niveau, tel qu'imaginé dès l'artificialisation du torrent, reste donc, hormis des travaux pharaoniques de remodelage, le seul mode de transfert des crues et du charriage sans dégât pour le canal.

À l'issue de son étude, Setec a proposé 4 scénarios dont il a analysé la faisabilité technique et évalué l'enveloppe. Parmi eux, une solution « lourde » a été soumise à VNF, consistant en la création d'un ouvrage neuf fonctionnant sur le même principe (pont-bâche mobile), construit en parallèle de l'existant, celui-ci étant simplement conservé en l'état.

Mais devant les difficultés prévisibles d'une telle opération, et les délais induits, une solution de motorisation de l'ouvrage, moins impactante vis-à-vis du canal du Midi, s'est profilée en variante. La durée de vie de l'existant étant directement liée à sa charge de travail, une étude hydrologique et statistique – menée par Hydratec (Groupe Setec) – a permis de définir les mesures d'accompagnement les plus pertinentes pour limiter la fréquence et la pénibilité des manœuvres. De cette étude sont principalement ressorties l'augmentation de la capacité du siphon d'une part et la mise en œuvre d'un peigne à embâcles (dégrilleur) en amont d'autre part. VNF s'est ensuite associé l'aide d'une

assistance à maîtrise d'ouvrage dans l'objectif de définir les conditions de valorisation de l'ouvrage d'un point de vue patrimonial, en tenant compte des scénarios de Setec. Cette étude d'AMO a été confiée au groupement des cabinets Destination Culture, Urbane et Yves le Douarin. À l'issue de cette première phase d'études (Setec et AMO patrimoniales), un programme d'opération de modernisation et de remise en valeur patrimoniale pourra être finalisé (avec la possible contribution des collectivités territoriales) avant d'engager la phase opérationnelle dans laquelle les collectivités pourront prendre part pour ce qui concerne la visite du public.

La solution qui sera retenue in fine par VNF permettra sans doute de pérenniser, si ce n'est le fonctionnement de l'ouvrage actuel du Libron, au moins son concept de franchissement du canal imaginé il y a 150 ans.

### LE SLIPWAY DE CHALON-SUR-SAÔNE

Mis en service en 1949, le slipway de Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire) est un treuil à câbles de sortie et de mise à l'eau de bateaux. Depuis son renforcement datant de 1967, il peut manipuler des bateaux pouvant peser jusqu'à 335 t et mesurer jusqu'à 80 m de long. Par rapport aux installations de tirage à terre existantes avant sa mise en service, il apporte un progrès technique considérable, notamment

#### 4- Principe de fonctionnement de l'ouvrage du Libron – coupe sur un pertuis.

#### 5- Ouvrage du Libron – chariots roulants et treuils des tabliers.

#### 4- Operating principle of the Libron structure – cross section on a sluice.

#### 5- Libron structure – slide gate mobile slides and winches.

par sa polyvalence et sa capacité de manœuvre élevée, dues à plusieurs choix techniques pertinents :

→ Il est constitué de deux chariots principaux de 40 m chacun, manœuvrables individuellement ou simultanément ;

→ Les bateaux reposent sur des chariots auxiliaires, posés sur les chariots principaux, et se déplaçant perpendiculairement à ceux-ci (photo 7). Cette configuration permet le ripage des embarcations sur les voies de cale situées de part et d'autre de la fosse de halage, de manière à ne pas immobiliser le slipway et à manutentionner les bateaux sans contrainte d'ordre ;

→ Pour s'adapter à la topographie du



## EXEMPLE DE MATRICE DE CRITICITÉ

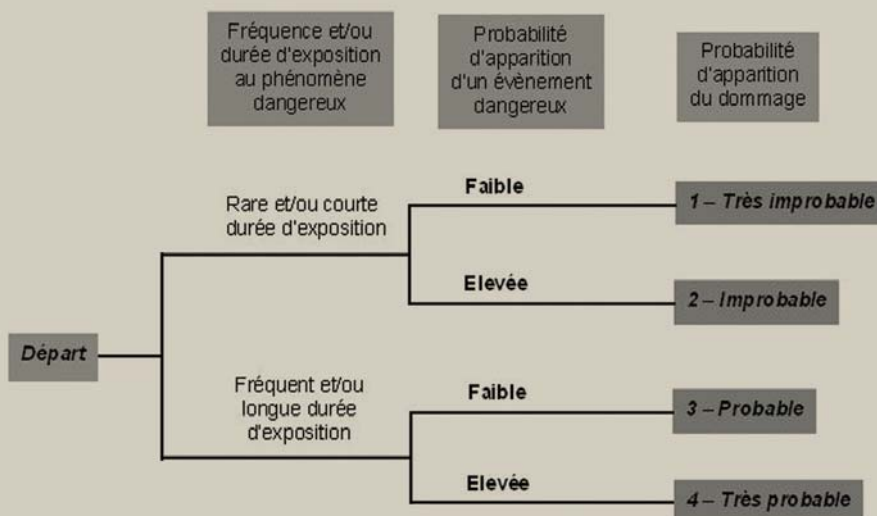
6

Niveau de gravité					
Très grave	4				
Grave	3		Priorité 1		
Moyen	2	Priorité 2			
Faible	1	Priorité 3			
		1	2	3	4
		Très improbable	Improbable	Probable	Très probable
					Niveau de probabilité

### ESTIMATION DE LA GRAVITE

- 1 – Faible : accident sans arrêt de travail
- 2 – Moyen : accident avec arrêt de travail
- 3 – Grave : accident entraînant une incapacité permanente partielle
- 4 – Très grave : accident mortel

### ESTIMATION DE LA PROBABILITE



site et desservir le plus grand nombre possible de voies de cale, les rails supportant les chariots principaux sont pentés à 1 % dans la zone de cale, et à 16 % à l'arrivée dans la Saône. Le maintien à l'horizontale des chariots est assuré par la présence de doubles rails dans la zone à 16 % (figure 8) ;

→ Le treuil de manœuvre, par un jeu d'embrayages, de réducteurs et de tambours, ne nécessite que très peu de manipulations pour inverser le sens de déplacement des chariots ou pour passer de la configuration 40 m à 80 m (photo 9).

Suite à une avarie survenue en 2007, le slipway est à l'arrêt, et VNF a confié à Setec TPI, assisté de Setec ALS (génie

6- Exemple de matrice de criticité.

6- Example of criticality matrix.

civil) et Terrasol (géotechnique – groupe Setec), la maîtrise d'œuvre complète de remise en service de l'installation. À l'heure de la rédaction de ces lignes, la mission en est au stade du diagnostic.

### ASSURER LA SÉCURITÉ DES MANOEUVRES

L'ingéniosité dont ont fait preuve les concepteurs du treuil du slipway n'empêche pas celui-ci de souffrir d'un inconvénient commun à tous les mécanismes anciens : la difficile adéquation entre la façon d'utiliser l'installation telle qu'on la concevait à l'origine, et les réglementations sur la sécurité apparues ces dernières décennies (directive « machines » dans les années 1990

par exemple). Même si la mécanisation limite l'effort physique nécessaire (au contraire de l'ouvrage du Libron), les opérateurs ne bénéficient d'aucune assistance de la technique pour assurer la sécurité des manœuvres. Par exemple, des dispositifs tels que les détecteurs de fin de course ou de surcharge, considérés comme basiques aujourd'hui, n'existent pas sur le slipway. Outre l'aspect réglementaire, le mécanisme peut alors être soumis, à l'insu de l'opérateur, à des efforts supérieurs à ceux retenus pour son dimensionnement. Cette méconnaissance des cycles de contrainte réellement subis oblige le diagnostiqueur à la plus grande prudence quant à l'estimation de l'endommagement des pièces. Enfin, la conception d'origine devra être confrontée aux textes applicables aux engins de levage, les plans inclinés n'ayant qu'assez récemment rejoint cette catégorie.

### LA PENTE D'EAU DE MONTECH

Lors des travaux de la mise au gabarit Freycinet du canal latéral à la Garonne, une technique particulière a été expérimentée à Montech (Tarn-et-Garonne), permettant de franchir, par un ouvrage unique, une dénivellée de 13,30 m, remplaçant ainsi une série de cinq écluses. Dans un tronçon de canal en pente appelé rigole, on déplace une bouchure mobile appelée masque. L'eau admise en amont de ce masque crée un lac en forme de coin, sur lequel peut flotter un bateau (photo 10). Le masque, poussé par un engin moteur enjambant la rigole, constitue le « bouclier moteur » qui entraîne dans son déplacement le coin d'eau, en même temps que le bateau (figure 11). Le masque possède sur sa périphérie des rouleaux qui, en s'appuyant sur le béton de la rigole, assurent l'étanchéité pendant la manœuvre. De l'eau sous pression est injectée devant les rouleaux pour empêcher les débris de s'y accumuler. En avant du masque se trouve une poutre pare-chocs destinée à amarrer le bateau. Le masque et la poutre peuvent être levés pour laisser passer le bateau à l'extrémité basse de la rigole (photo 12). Une porte basculante située à l'extrémité supérieure empêche l'eau du canal de s'écouler en permanence dans la rigole.

### UNE PREMIÈRE MONDIALE

Seul ouvrage de ce genre lors de sa mise en service en 1974, la pente d'eau de Montech se distingue non seulement par l'originalité de cette méthode de ▷



7 © SETEC TPI

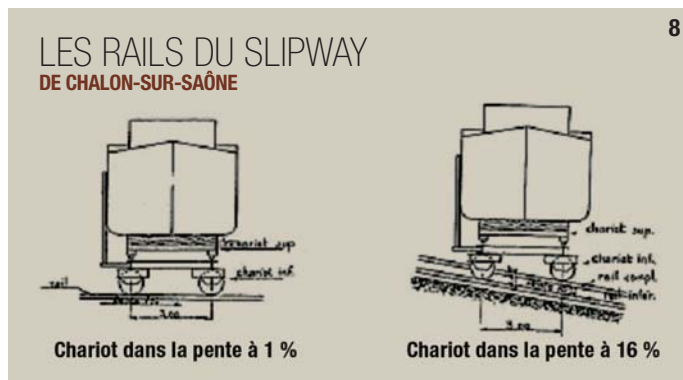
franchissement, mais également par la méthode constructive employée.

En effet, ses principaux sous-ensembles constitutifs ont été détournés de leur destination première : les engins moteurs sont des autorails diesel, les essieux sont issus de ponts arrière de poids lourds.

Il faut noter que le principe a été reproduit en 1984 pour doubler les neuf écluses de Fonsérannes (Béziers), avec une approche plus industrielle (développement de sous-ensembles spécifiques), mais cette installation n'a que très peu fonctionné.

La conception de l'installation de Montech pose, elle, d'autres types de problèmes :

→ Les sous-ensembles réemployés, s'ils ont démontré leur fiabilité pour l'utilisation d'origine, peuvent ne pas être parfaitement adaptés à l'usage souhaité ici. Par exemple, les moteurs diesel principaux ne sont pas conçus pour un fonctionnement de courte durée et nécessitent donc des périodes de préchauffage plus longues que la durée de la manœuvre ;



9 © SETEC TPI

7- Slipway de Chalons-sur-Saône – vue générale.

8- Les rails du slipway de Chalons-sur-Saône.

9- Slipway de Chalons-sur-Saône – treuil.

7- Chalons-sur-Saône slipway – general view.

8- Rails of the Chalons-sur-Saône slipway.

9- Chalons-sur-Saône slipway – winch.

→ Plusieurs sources d'énergie cohabitent, ce qui complique et alourdit d'autant la maintenance. La traction de l'engin est assurée par des moteurs à courant continu, alimentés par les génératrices diesel ; une centrale et un vérin hydrauliques manœuvrent le masque et la poutre pare-chocs ; le circuit de freinage fonctionne grâce à un compresseur d'air actionné par l'arbre moteur du diesel ;  
 → Il n'est pas certain que le processus de développement de ce prototype ait été mené jusque là où les concepteurs le souhaitent, comme en témoignent les documents d'époque. Plusieurs systèmes mentionnés dans le dossier de conception n'ont jamais été installés : pilotage automatique, freinage d'urgence par pinces enserrant les rails de guidage en béton (photo 13). À cause de cette incertitude quant au

degré d'aboutissement de la réflexion originelle, il est parfois difficile de définir la fonctionnalité exacte de certains composants, et donc de s'assurer qu'ils remplissent bien le rôle auquel ils étaient destinés. Par exemple, entre les différents systèmes de freinage existants (freinage pneumatique ou rhéostatique) ou prévus (pinces), quels étaient les niveaux de performance et la chronologie d'action de chacun ? Seul un travail de rétro-conception permet de répondre à ces questions.

### PÉRENNISER L'EXPLOITATION

Le maintien en activité de cet ouvrage remarquable, qui mobilise des moyens humains et matériels importants, ne peut donc passer que par un diagnostic et une analyse détaillée des opérations de modernisation et de fiabilisation envisageables. En 2006, VNF a confié

cette mission à Setec TPI, accompagné de Setec international qui a pour sa part étudié les retombées socio-économiques et les potentialités de développement touristique associées. Car, en plus d'assurer la continuité du gabarit Freycinet sur le canal latéral à la Garonne (les écluses sont limitées à 30 m en longueur), la pente d'eau constitue un des emblèmes de la commune de Montech, attirant plus de 60 000 visiteurs par an. La nécessité de maintenir l'esthétique initiale imposant moins de contraintes que pour l'ouvrage du Libron (les équipements de la pente d'eau sont presque tous implantés à l'intérieur des motrices), les matrices d'aide à la décision ont pris en compte de façon plus marquée les coûts d'exploitation. Si chacun des systèmes nécessite une rénovation d'ampleur variable, l'examen des archives d'exploitation a mis en

évidence divers inconvénients liés à l'utilisation des moteurs diesel :

- Temps de préchauffage pénalisants pour l'exploitation et la consommation ;
- Coût d'achat du fuel : près de 50 % des frais d'exploitation courante ;
- Critères environnementaux : pollution atmosphérique et contraintes de stockage ;

→ Et, surtout, pannes et opérations de maintenance préventive et curative très importantes sur ces équipements complexes (photo 14).  
 La proposition d'électrifier le système de traction s'est donc imposée en complément à l'ensemble des mesures préconisées pour améliorer la fiabilité et la sécurité de l'exploitation.

### DES OUVRAGES VIVANTS

Les problématiques présentées dans cet article, si elles ne sont bien sûr ▷

10- Pente d'eau de Montech – vue d'ensemble, masque abaissé.

11- Principe de fonctionnement de la pente d'eau de Montech.

12- Pente d'eau de Montech – sortie d'un bateau en partie basse de la rigole.

10- Montech water slope – overall view, water gate lowered.

11- Operating principle of the Montech water slope.

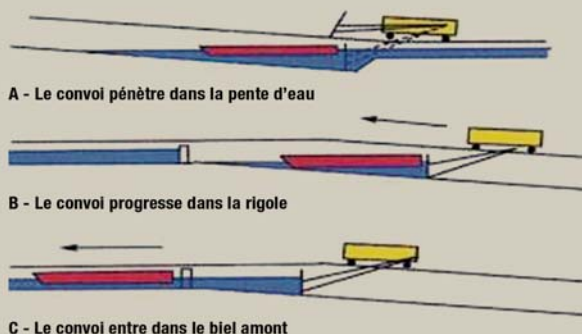
12- Montech water slope – exit of a boat in the lower section of the channel.



© SETEC TPI

10

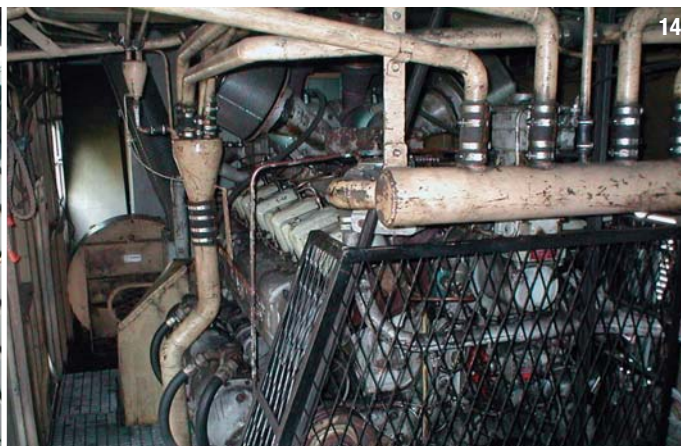
### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA PENTE D'EAU DE MONTECH



11



12



pas spécifiques à la voie d'eau, y sont encore très présentes.

Plusieurs raisons expliquent la survivance de ces mécaniques prototypes :

→ La continuité de l'exploitation par VNF, qui a permis de perpétuer les savoir-faire nécessaires à leur conduite et leur maintenance ;

→ L'absence de classification réglementaire spécifique, du fait de leur unicité, les a longtemps (toujours, pour certains) tenus à l'écart de mises aux normes très contraignantes ;

→ Les solutions imaginées par les concepteurs de l'époque représentaient souvent le meilleur compromis face à une problématique donnée et aux multiples contraintes de la voie d'eau. Dès lors, un changement de technologie ne s'impose pas naturellement, et le remplacement à l'identique se heurte aux difficultés inhérentes à la mise en œuvre d'un ouvrage unique (coût, délais de développement et fabrication, fiabilité...).

L'humilité imposée par l'ingéniosité et la longévité de ces ouvrages ne doit pas

**13- Pente d'eau de Montech – pont moteur.**

**14- Pente d'eau de Montech – moteur diesel.**

**13- Montech water slope – drive axle.**

**14- Montech water slope – diesel engine.**

faire perdre au diagnostiqueur son œil critique.

Il doit toujours avoir à l'esprit que l'expérience des opérateurs de conduite s'est longtemps substituée à de nombreux principes et dispositifs (de sécurité, de surveillance) considérés comme acquis aujourd'hui.

Il doit par ailleurs être en mesure, même en l'absence de dossier technique, de déceler les sources possibles de

dysfonctionnements, liées aux techniques de l'époque ou à des modifications intervenues au cours de la vie de l'installation.

Enfin, et surtout, la dimension humaine et historique des voies de navigation doit impérativement être considérée pour éviter des réponses qui, bien que pertinentes du point de vue technico-économique, feraient abstraction de ce contexte particulier. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE DU LIBRON :** Voies navigables de France, direction interrégionale Sud-Ouest, subdivision Languedoc est (Béziers)

**MAÎTRISE D'OUVRAGE DU SLIPWAY :** Voies navigables de France, direction interrégionale Rhône-Saône-Méditerranée, subdivision de Chalon-sur-Saône

**MAÎTRISE D'OUVRAGE DE LA PENTE D'EAU :** Voies navigables de France, direction interrégionale Sud-Ouest, subdivision du Tarn-et-Garonne (Moissac)

**ÉTUDES TECHNIQUES :** Setec TPI

## ABSTRACT

### ORIGINALITY OF MECHANICAL SYSTEMS RELATING TO INLAND WATERWAYS, FROM DIAGNOSIS TO REPAIR

BRUNO SOLER, SETEC TPI - (VNF: DAVID RANFAING, ALAIN HERR, SÉBASTIEN COLLARD, JEAN-DENIS JABRAUD)

**Waterways incorporate numerous original mechanical systems, very ingenious, but frequently very old. Given their inevitable ageing, and with the application of present-day regulations, very radical transformations are required. But since these structures are part of the historical heritage, it is often impossible to change their appearance radically. The engineering office in charge of the diagnosis and modernisation design work must take all these constraints into account to solve problems related to the age of the mechanisms, without completely altering their appearance and their functionalities. Setec TPI, assisted by the companies of Setec Group, carried out this work for three structures in particular: the Libron movable canal aqueduct, the Chalon-sur-Saône slipway and the Montech water slope. □**

### ORIGINALIDAD DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS RELACIONADOS CON LA VÍA NAVEGABLE, DESDE EL DIAGNÓSTICO HASTA LA REPARACIÓN

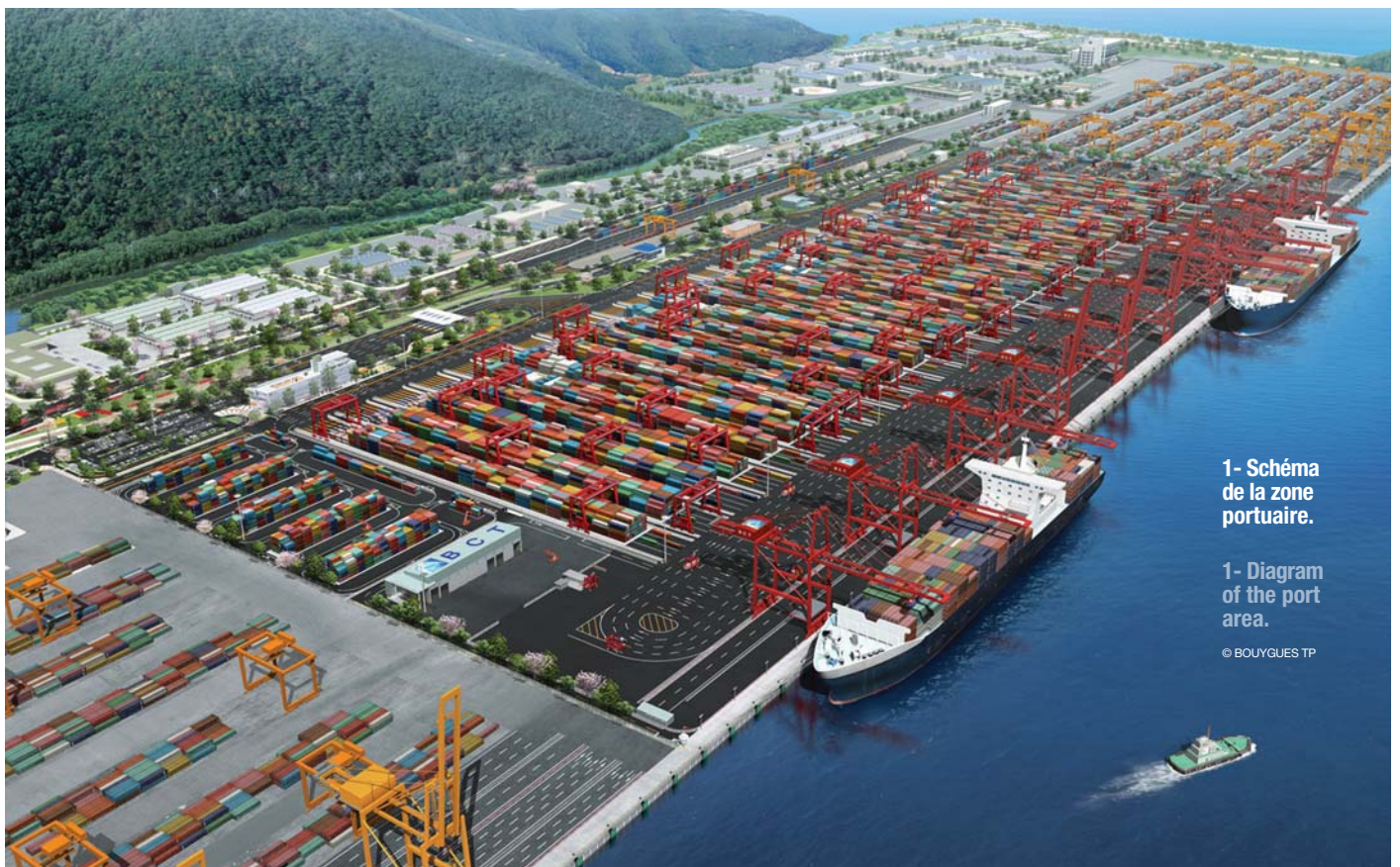
BRUNO SOLER, SETEC TPI - (VNF: DAVID RANFAING, ALAIN HERR, SÉBASTIEN COLLARD, JEAN-DENIS JABRAUD)

**Las vías navegables constan de numerosos sistemas mecánicos originales, sumamente ingeniosos, pero frecuentemente muy antiguos. Su inevitable obsolescencia y la aplicación de las actuales normativas imponen transformaciones bastante importantes pero, muy a menudo, el lugar que ocupan estas estructuras en el patrimonio histórico impide modificar profundamente su apariencia. La oficina de proyectos encargada del diagnóstico y de los estudios de modernización debe tener en cuenta el conjunto de estos requisitos para solucionar los problemas relacionados con la antigüedad de los mecanismos, sin desnaturalizar su aspecto ni sus funcionalidades. Setec TPI, con la ayuda de las empresas del grupo Setec, ha llevado a cabo esta misión en tres estructuras en particular: el puente-canal móvil de Libron, el varadero de Chalon-sur-Saône y la pendiente de agua de Montech. □**

# CONSTRUCTION DU PORT À CONTENEURS DE BUSAN, EN CORÉE DU SUD, LOT 2-3

AUTEURS : JEAN-LOUIS LUCAZEAU, DIRECTEUR DE PROJET, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - OLIVIER HAYE, DIRECTEUR TECHNIQUE, SPÉCIALISTE EN GÉOTECHNIQUE, VSL INTRAFOR HONG KONG - GEORGES PIRES, INGÉNIEUR, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LE PROJET BUSAN NEW CONTAINER TERMINAL (BNCT) CONSISTE À RÉALISER QUATRE QUAIS ET UNE PLATE-FORME DE 840 000 M<sup>2</sup>. GRÂCE À UNE PRÉPARATION DES MÉTHODES EN AMONT ET À UNE IMPORTANTE MOBILISATION D'ÉQUIPEMENTS MARITIMES ET DE RENFORCEMENT DE TERRAIN, LE CHANTIER A PROPOSÉ UN ACHÈVEMENT EN QUATRE ANS, ALORS QUE LES PRÉCÉDENTS LOTS EN AVAIENT REQUIS CINQ. LA RÉUSSITE DU PROJET EST AUSSI LARGEMENT DUE À LA COMPRÉHENSION DU TERRAIN, DU SUIVI DES TASSEMENTS, ET À LA PARFAITE MAÎTRISE DES TECHNIQUES DE CONSOLIDATION ET DE RENFORCEMENT DE SOLS.



1 - Schéma de la zone portuaire.

1 - Diagram of the port area.

© BOUYGUES TP

## UN PROJET PHARAONIQUE

Le port de Busan, en Corée du Sud, est considéré par l'AAPA (Association américaine des autorités portuaires) comme le troisième port maritime au niveau mondial, tant par l'importance de son trafic que par son efficacité.

Il y a quelques années, du fait d'un développement important du trafic mais aussi d'une implantation pénalisante, en plein centre-ville, le port arriva quasiment à saturation. Le gouvernement coréen, par le biais du MLTM (ministère de l'Urbanisme, des Transports et de

la Mer) et du BPA (l'autorité portuaire de Busan), décida alors de délocaliser le port vers la zone franche de Jinhae, à quelques kilomètres de Busan, en construisant une zone de développement portuaire (23 quais à port-conteneurs), de logistique et de gares

intermodales (rail-route-mer). Ce projet pharaonique, divisé en plusieurs lots et dont les premiers travaux ont démarré il y a plus de 10 ans, devrait s'achever en 2015 (figure 1).

Cet article concerne le lot 2-3 (« BNCT lot 2-3 »).



2

© BOUYGUES TP

Il s'agit d'un contrat de concession attribué par le gouvernement à la société BNCT, et signé le 23 octobre 2006. BNCT est un groupement d'entreprises constitué de Bouygues travaux publics, d'un partenaire génie civiliste coréen (Hyundai Development Company ou HDC), des opérateurs portuaires, des armateurs (dont le français CMA-CGM) et des investisseurs (dont Macquarie). Le groupement de travaux, ci-après dénommé JV, est constitué de Bouygues travaux publics (50 %) et HDC (50 %). Il est en charge de la conception et de la réalisation du projet, partie génie civil et bâtiments. À cette fin, un contrat dit EPC a été signé le 31 décembre 2007 avec BNCT.

En parallèle, un autre groupement a en charge la conception, la fourniture et la mise en route des équipements portuaires, dont 12 grues de manutention des conteneurs entre les bateaux et le quai, et 60 portiques automatiques montés sur rails dans la zone de stockage.

#### QUATRE QUAIS POUR NAVIRES SUPERPOSTPANAMAX

L'exploitation du terminal étant fixée à partir de janvier 2012, le contrat EPC prévoit la conception et la construction en quatre ans d'une plate-forme portuaire de 1 400 x 600 m (840 000 m<sup>2</sup>) avec quatre quais permettant l'accostage de superpostpanamax. La zone de stockage et de manutention des conteneurs, de 450 000 m<sup>2</sup>, est décomposée

2- Coupe sur le mur de quai.

3- Plan d'un caisson.

4- Vue de la zone de préfabrication.

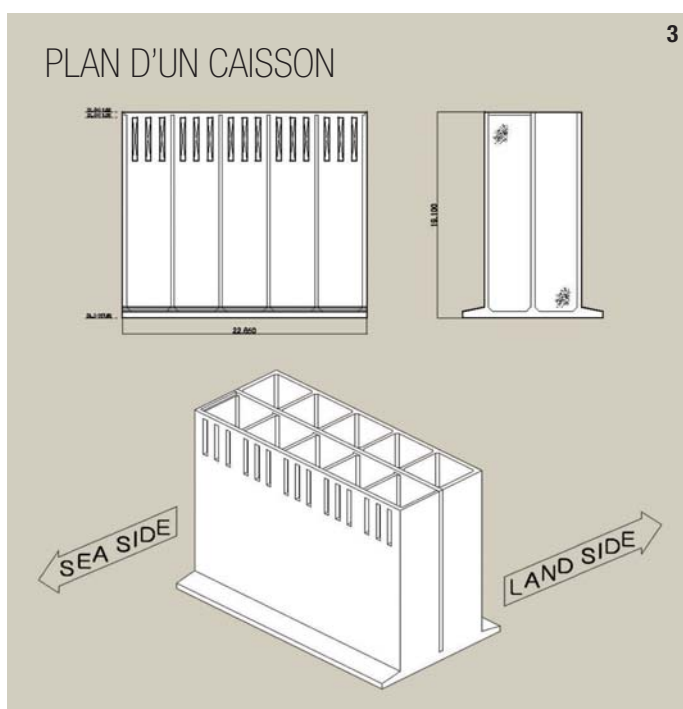
2- Cross section of the dock wall.

3- Drawing of a caisson.

4- View of the prefabrication area.

en 30 lignes qui posséderont chacune deux portiques automatisés. Une zone intermodale est également prévue pour les échanges avec le réseau ferré. Bien entendu, le projet étant « clés en main », il comprend aussi la réalisation de bâtiments de bureaux, d'ateliers de maintenance, d'un bâtiment technique, d'une zone d'inspection sous douane, d'une gare de péage et de zones de parking.

L'objet de cet article est de décrire plus particulièrement les travaux spécifiques au contexte maritime et portuaire, les travaux relatifs aux remblais hydrauliques et ceux de renforcement de terrain, nécessitant une réelle expertise. Il ne s'agit pas de minimiser l'impor-



3



4

© DR



**5- Levage des caissons.**

**6- Chargement des caissons.**

**5- Lifting the caissons.**

**6- Loading the caissons.**



tance des travaux de la plate-forme, dont les quantités sont impressionnantes : dix bâtiments pour un total de 11 531 m<sup>2</sup> fondés sur 20 000 m de pieux métalliques battus de diamètre 500 mm, les fondations des grues totalisant 16 000 m de pieux métalliques battus de 1 000 mm de diamètre, les réseaux hydrauliques totalisant 37 656 m de tuyaux et 640 regards de visite, 700 000 m<sup>3</sup> d'agrégats et 210 000 t d'enrobés bitumineux.

Il s'agit plutôt de mettre en avant les travaux qui, techniquement d'une part, et du point de vue du planning d'autre part, sont les plus critiques et dont la bonne réalisation présente une importance cruciale. Par conséquent, la première partie de cet article sera consacrée à la réalisation du quai, en explicitant la fabrication des caissons, leur transport et mise en place définitive, leur pré-chargement, et enfin la réalisation de la poutre de couronnement. La partie suivante montrera toute la dimension géotechnique du projet, en

partant d'une description du terrain environnant et en explicitant la réalisation des travaux de renforcement de sol (pieux de sable pour améliorer la fondation du mur de quai) et de consolidation de la plate-forme (PBD et surcharge de sable).

### 62 CAISSONS EN BÉTON ARMÉ

Le quai totalise 1 400 m de longueur. Il est constitué de 62 caissons en béton armé, accolés les uns aux autres et reposant sur une fondation en matériaux concassés de 5 m d'épaisseur et répartis sur deux couches (figure 2).

Les caissons, de 2 500 t environ, font 22,65 m de longueur, 19,10 m de hauteur et 13 m de largeur. Ils sont de type multicellulaire, c'est-à-dire qu'ils possèdent chacun dix cellules de 4,10 x 3,90 m (figure 3).

La zone de préfabrication des caissons permettait de réaliser 22 caissons simultanément (photo 4). Il a donc fallu trois phases de fabrication pour réaliser les 62 caissons. Une des contraintes

majeures était que les caissons devaient être à une portée suffisante afin de pouvoir être levés par la grue flottante de 4 000 t. Les caissons ont donc été construits sur deux lignes aussi proches que possible du quai. Concernant les moyens de levage, seules des grues à treillis et des grues hydrauliques ont été utilisées, car elles sont beaucoup plus répandues que les grues à tour en Corée du Sud. Les deux grues à treillis servaient aux charges lourdes (coffrages, paquets d'aciers, etc.) et les deux grues hydrauliques servaient aux finitions et aux nacelles de transport.

Les caissons ont été bétonnés en plusieurs phases : d'abord le radier de 1 m, puis cinq levées de 3,6 m.

Le béton, prêt à l'emploi, a été livré par trois centrales pour garantir la quantité quotidienne nécessaire. Il pouvait y avoir deux bétonnages de 180 m<sup>3</sup> chacun par jour, puisque jusqu'à sept caissons étaient en fabrication simultanément. La production s'organisait autour d'une équipe de ferrailleurs (13 personnes),

de deux équipes de coffreurs (18 personnes) et d'une équipe de bétonneurs (sept personnes). La cadence de sept jours sur sept et douze heures par jour a permis de livrer 22 caissons en quatre mois, sachant qu'il fallait un mois de travail par caisson. Pour assurer la cadence, deux sets de coffrage de radier et six sets de coffrage de levée ont été fabriqués. Ces derniers étaient de type grim pant, avec des voiles pour l'extérieur et dix coffrages caissons par set pour les cellules intérieures.

Une grande importance a été consacrée à la qualité du béton, en particulier sur le point de la formulation. En effet, ces caissons étant en partie immergés, il existe une zone très exposée aux chlorures, dite de marnage, soumise à des projections et embruns marins.

De nombreuses études et essais de durabilité ont permis de trouver une formule appropriée. Elle est basée principalement sur une compacité élevée (faible porosité) en abaissant le taux E/C et l'utilisation de ciment à base de laitier et des fumées de silice. Le respect de l'enrobage a été scrupuleusement surveillé pour garantir au moins 7 cm entre le parement en béton et les barres d'acier.

### TRANSPORT ET MISE EN PLACE

Une grue flottante de 4 000 t de capacité a été employée à chacune des trois phases pour lever et mettre en flottaison les 62 caissons (figure 5). Des barres d'acier de haute performance ont été ancrées dans les caissons, profondément et assez nombreuses pour éviter de transmettre trop d'effort de traction et d'entraîner ainsi des fissures.

Pour chacun, 36 points de levage nécessaires à cette opération délicate ont été créés. Un palonnier métallique a été conçu afin de répartir uniformément les efforts, de façon verticale, sur tout le pourtour des caissons. Cette opération a été réalisée conjointement avec VSL Corée. Une fois levé, chaque caisson a été mis à flot. Par sécurité, le caisson est ensuite stabilisé en le coulant par l'introduction d'eau à l'intérieur et jusqu'à ce que seuls quelques mètres dépassent de la surface. L'opération suivante fut l'amenée de chaque caisson jusqu'à sa position définitive (ou temporaire pour certains) grâce à des remorqueurs. Des barges stationnaires ont pris le relais pour le positionnement précis et le coulage. Afin de limiter les tassements de sol à venir, le terrain en place sous les caissons a subi, en plus de l'inclusion de pieux de sables (voir plus loin), un pré-chargement. ▶



Celui-ci a consisté à laisser des blocs de béton sur chaque caisson pendant 40 jours, ou jusqu'à ce que ce dernier ne s'enfonce quasiment plus, afin qu'il prenne sa place définitive.

Environ 300 blocs de 20 à 25 m<sup>3</sup> chacun étaient repartis sur six caissons et régulièrement changés de place grâce à une grue montée sur barge. L'opération est actuellement en cours d'achèvement et aura nécessité un an au total (photo 6).

### POUTRE DE COURONNEMENT DITE « CASQUETTE »

Les derniers travaux pour le mur de quai consistent à réaliser, au-dessus des caissons, une poutre de couronnement. Celle-ci permet de donner au quai son profil définitif, en éliminant les défauts d'alignement des caissons suite aux tassements prévus, et d'inclure les équipements d'aide aux navires (poteaux d'amarrage et amortisseurs d'accostage) et les rails pour les grues. La poutre est en fait divisée en 62 parties, une par caisson, séparées par un joint et coulées en deux phases.

La phase basse est une dalle de 50 cm recouvrant le caisson (114 m<sup>3</sup>) ; la phase haute est un volume parallélépipédique d'une surface moindre, mais de 2 m d'épaisseur (341 m<sup>3</sup>). Enfin, cette poutre est en porte-à-faux d'un mètre pour éviter les risques de choc entre le fond des navires et le parement des caissons.

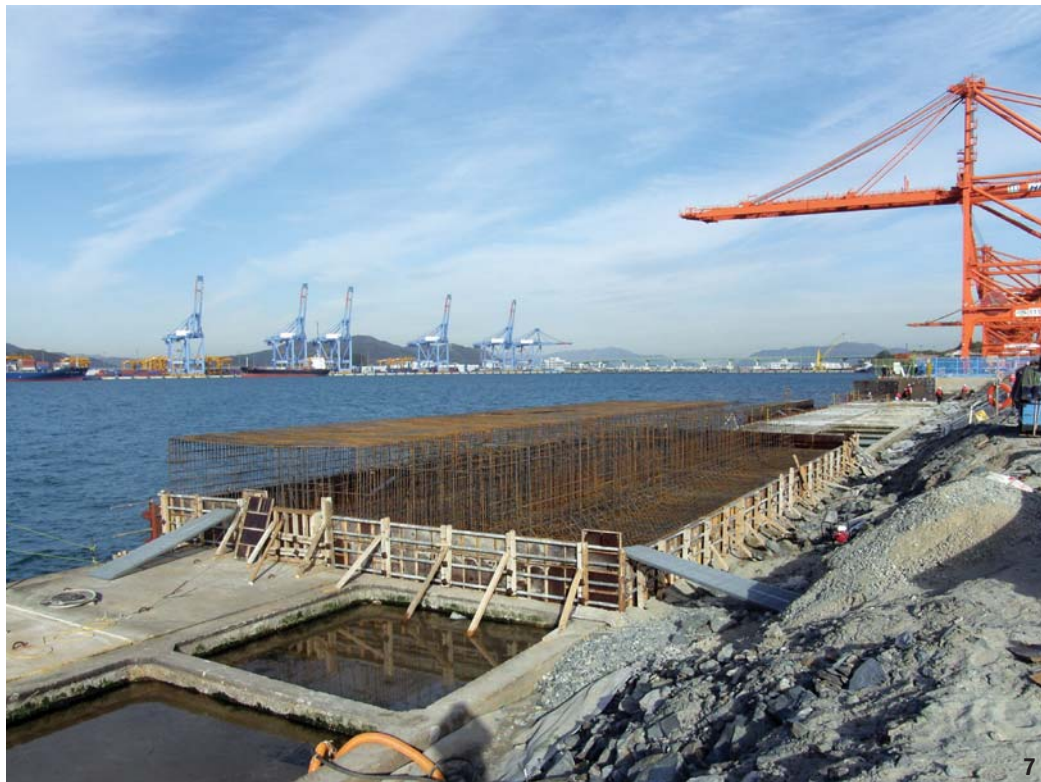
Ces travaux viennent de démarrer et devraient durer huit mois environ.

Les parties indépendantes seront exécutées d'abord une sur deux (les impaires), puis les parties intermédiaires seront réalisées.

Afin de respecter le planning, le chantier va mobiliser jusqu'à six coffrages de quatre faces, avec phases basses et hautes, pour les parties indépendantes, et quatre coffrages de deux faces, avec phases basses et hautes, pour les parties intermédiaires.

Cette organisation permettra de travailler sur une douzaine de parties simultanément, si on tient compte des postes de ferrailage, coffrage et bétonnage.

La marée est une contrainte importante à gérer puisque, le haut du caisson étant à une altitude inférieure à celle de la marée haute, elle prive deux fois par jour les équipes de production de quelques heures de travail et les oblige à répéter en permanence les actions nécessaires avant chaque ferrailage et coulage pour assurer la durabilité de l'ouvrage (photo 7).



### CONDITIONS DE SOLS

La plate-forme est à remblayer entièrement sur la mer (photo 8). Le fond de la mer varie entre les niveaux DL-1.6 et DL-3.6, en s'approfondissant graduellement vers l'Ouest. Le niveau moyen de la mer est DL+0.953. Les campagnes de sondages indiquent la stratigraphie suivante :

→ Une couche très épaisse (25 à 55 m, localement 65 m) d'argiles marines très compressibles, très molles en partie supérieure, devenant moyennement raides à partir de 40 à 45 m de profondeur ;

**7- Démarrage de la casquette.**

**8- Vue générale des remblais sur la mer.**

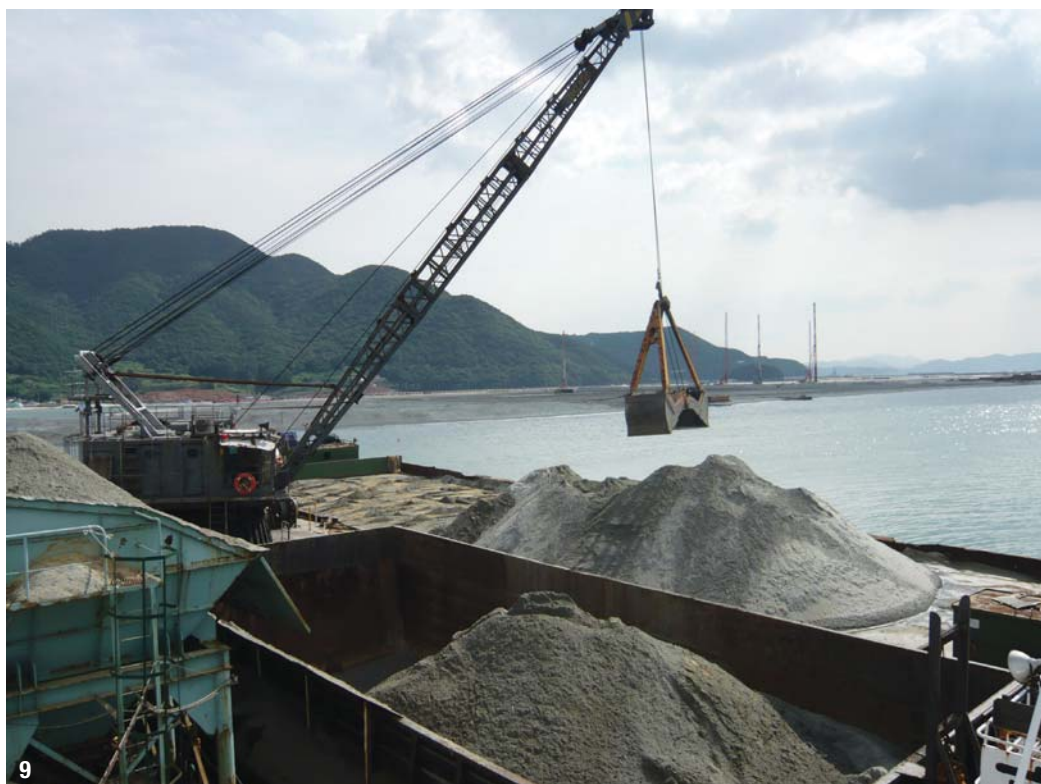
**7- Starting the capping beam.**

**8- General view of backfills on the sea.**

→ Une couche de sables et graviers d'épaisseur généralement faible (quelques mètres) mais pouvant atteindre jusqu'à 25 m d'épaisseur par endroits ;  
→ Du rocher.

### REMBLAIEMENT ET CONSOLIDATION DES ARGILES MOLLES

La plate-forme (1 400 x 600 m) est remblayée avec du sable marin (11,1 millions de m<sup>3</sup>) provenant d'une zone d'emprunt désignée par les autorités et située à une centaine de kilomètres au large du projet, à environ



9



10

**9- Arrivée du sable par barge.**  
**10- Installation des PBD.**

**9- Arrival of sand by barge.**  
**10- Installation of PBDs.**

80 m de profondeur, en utilisant la méthode de rainbowing. Celle-ci a permis d'obtenir une meilleure flexibilité et une diminution maximale des pertes en sable dans l'exécution de la plate-forme. Le sable est donc extrait de la zone d'emprunt, transporté par barge jusqu'au projet où sont installées des barges spécialement équipées de pompes et tuyauteries permettant l'arrosage de la plate-forme avec le mélange de sable et d'eau (photo 9).

Une première plate-forme, au niveau DL+3.0, est ainsi créée, à partir de laquelle 31 800 km de drains verticaux (PBD), qui permettront la consolidation des argiles molles, sont installés sur toute la hauteur des argiles compressibles grâce à six équipements en pointe (mât de 50 m monté sur une base de grue à chenille), à un espacement variant entre 1 et 1,4 m suivant l'épaisseur des zones à traiter et la durée anticipée de surcharge (photo 10).

La compression de ces argiles sous le poids du remblai et de la surcharge est de l'ordre de 11 % de leur épaisseur totale, soit un tassement de 3 à 6 m en l'espace d'un an, jusqu'à ce que la surcharge soit enlevée.

Afin d'optimiser l'usage du sable de remblai, très onéreux du fait de la grande distance de transport, la campagne de surcharge est organisée en trois phases successives permettant le réemploi de la partie résiduelle de surcharge de chaque phase dans la suivante.

### **STABILITÉ DU REMBLAI ET FONDATIONS DES CAISSONS DU MUR DE QUAI**

Le volume unitaire des caissons est de 1 000 m<sup>3</sup> de béton armé, soit un poids d'environ 2 500 t. Outre leur poids propre, les caissons supportent le poids de la poutre de couronnement en béton armé de 2,5 m d'épaisseur, ainsi bien sûr que les charges de service, en l'occurrence les charges des grues de quai.

De plus, pour raison de stabilité contre le basculement, les cellules des caissons sont complètement remblayées avec des enrochements côté terre, et partiellement remblayées côté mer. Toutes ces charges représentent une pression moyenne de 26 t/m<sup>2</sup> sous la base des caissons, alors que la capacité des argiles marines n'est que d'un dixième de cette valeur. Puisqu'il n'est pas raisonnable de vouloir draguer les argiles molles sur une cinquantaine de mètres d'épaisseur, il est nécessaire d'améliorer énormément le sol de fondation des caissons, cela également pour pallier l'instabilité au glissement de la plate-forme.

Plusieurs méthodes d'amélioration de sols sont disponibles à ces fins et utilisées couramment en Asie du nord, comme le deep soil mixing, qui consiste à mélanger le sol existant avec un liant (ciment), ou les sand compaction piles (SCP), ou pieux de sable. C'est cette dernière méthode qui a été retenue pour le projet (photo 11). C'est également la méthode qui avait été adoptée pour les phases précédentes du port, mais dans des conditions moins difficiles, l'épaisseur d'argile à traiter étant alors nettement moins grande.

Après avoir dragué les argiles jusqu'à la cote DL-22.50, des pieux de sable de 2 m de diamètre sont installés, à partir de barges spécialement équipées, jusqu'au fond de la couche à traiter, soit sur une hauteur pouvant aller jusqu'à 70 m.



11

© BOUYGUES TP

Ces barges sont équipées de trois mâts munis chacun d'un tubage de 800 mm de diamètre, dans lequel le sable est alimenté par le haut sous air comprimé, à une pression supérieure de 5 à 7 bars à la pression hydrostatique en pied du tubage. Chaque tubage est élargi à 1 200 mm en pied. Le sable est ainsi poussé avec le tubage jusqu'au fond de traitement, puis le tubage est remonté par phases successives en compactant le sable après chaque remontée à l'aide d'un vibreur, suivant le même principe que celui des colonnes ballastées. 700 000 m<sup>3</sup> de sable ont ainsi été installés dans les pieux de sable pour les fondations du quai en mobilisant quatre machines pendant six mois.

Après installation des pieux de sable, le fond est dragué à nouveau pour être nettoyé, et une couche de 5 m d'épaisseur de gravats est installée, réglée et compactée en utilisant les mêmes barges

#### 11- Installation des SCP.

#### 11- Installation of SCPs.

que pour les pieux de sable, dont les tubages sont cette fois-ci équipés de plaques d'acier en pied que l'on vibre à l'aide du même équipement que pour le compactage du sable. Cette couche sert donc d'assise aux caissons en béton et assure le transfert des charges entre le radier des caissons et les pieux de sable. □

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** BNCT (dont Bouygues travaux publics)

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Hyen (ingénieur indépendant)

**ENTREPRISE :** JV (dont Bouygues travaux publics)

**SOUS-TRAITANTS :** fabrication des caissons, Teaha ; dragage, Eunjin ; réclamation, Dado et Shinwon ; pompage du sable, Bukhyung ; SCP (pieux de sable), Eunsung ; PBD (drains), Chosuk ; chargement caissons, Tae Hung ; poutre de couronnement, Daeyang

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON ARMÉ :** 138 000 m<sup>3</sup>

**ARMATURES :** 15 800 t

**AGRÉGATS :** 700 000 m<sup>3</sup>

**REMBLAIS DE SABLE :**  
11 100 000 m<sup>3</sup>

**PIEUX DE SABLE :**  
700 000 m<sup>3</sup>

**DRAINS VERTICAUX (PBD) :**  
31 800 000 m

**PIEUX ACIER Ø 500 mm :**  
20 000 m

**PIEUX ACIER Ø 1 000 mm :**  
16 100 m

**ENROBÉS BITUMINEUX :**  
210 000 t

**TUYAUX :** 37 700 m

#### ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF BUSAN CONTAINER PORT, IN SOUTH KOREA, WORK SECTION 2-3

J.-L. LUCAZEAU, BOUYGUES - O. HAYE, VSL INTRAFOR HONG KONG - G. PIRES, BOUYGUES

**The Busan New Container Terminal (BNCT) project** involves building four docks and an 840,000 m<sup>2</sup> platform in the new port of Busan, South Korea. All the challenges, which were substantial, have been met and mastered. Now, for large infrastructure projects, concession arrangement contracts have been used in this country only very recently. Lengthy work was needed by all the partners to make this project one of the first private concession arrangements, despite the 2007-2008 economic crisis and the ensuing sea transport crisis. Through upstream preparation of procedures and the extensive deployment of offshore facilities and ground reinforcement, the proposed project completion time was four years, whereas the previous work sections had required five years. Finally, the success of the project is largely due to an understanding of the ground, subsidence monitoring, and thorough mastery of soil consolidation and reinforcement techniques. □

### CONSTRUCCIÓN DEL PUERTO DE CONTENEDORES DE BUSAN, EN COREA DEL SUR, LOTE 2-3

J.-L. LUCAZEAU, BOUYGUES - O. HAYE, VSL INTRAFOR HONG KONG - G. PIRES, BOUYGUES

**El proyecto Busan New Container Terminal (BNCT)** consiste en construir cuatro muelles y una plataforma de 840.000 m<sup>2</sup> en el nuevo puerto de Busan, en Corea del Sur. Se han aceptado y controlado todos los retos, que eran colosales. En efecto, en este país, los contratos en concesión para los grandes proyectos de infraestructura son muy recientes. Ha sido necesario un largo trabajo por parte de todos los colaboradores para que este proyecto figurara entre las primeras concesiones privadas, a pesar de la crisis económica de 2007-2008 y la del transporte marítimo resultante. Gracias a una preparación de los métodos en las fases previas y a una gran movilización de equipamientos marítimos y de refuerzo de terreno, se prevé finalizar la obra en un plazo de en cuatro años, mientras que hicieron falta cinco para los lotes anteriores. El éxito del proyecto se debe en gran medida a la comprensión del terreno, al seguimiento de las compactaciones y al completo control de las técnicas de consolidación y de refuerzo de los suelos. □



1- Panorama  
du chantier vu  
depuis le Port.

1- General  
view of the  
construction  
site from  
the Port.

© SOLETANCHE BACHY

# CONSTRUCTION DE DEUX NOUVEAUX POSTES À QUAI DANS LE PORT DE COTONOU AU BÉNIN

AUTEUR : SARA CASCARINO, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY

UN ACCORD DE DON SIGNÉ LE 22 FÉVRIER 2006 ENTRE LE GOUVERNEMENT DU BÉNIN ET LE GOUVERNEMENT DES ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE DOIT PERMETTRE LA RÉALISATION DE QUATRE PROJETS MAJEURS AU BÉNIN. L'UN D'EUX, INTITULÉ « ACCÈS AUX MARCHÉS », DONT LE BUDGET S'ÉLÈVE AU TOTAL À PRÈS DE 169,5 MUSD, A POUR BUT PRINCIPAL LE DÉVELOPPEMENT DU PORT DE COTONOU ET COMPREND LA CRÉATION DE DEUX POSTES À QUAI SUPPLÉMENTAIRES POUR L'EXPLOITATION D'UN NOUVEAU TERMINAL DE DÉCHARGEMENT DE CONTENEURS. CE PROJET A ÉTÉ ACQUIS PAR SOLETANCHE BACHY GRÂCE À UNE SOLUTION VARIANTE AVANTAGEUSE, BASÉE SUR LA CONSTRUCTION DE DEUX PAROIS MOULÉES QUI SERVENT À LA FOIS DE SOUTÈNEMENT DU QUAI ET DE FONDATIONS POUR LES VOIES DE GRUES DES FUTURS PORTIQUES DE MANUTENTION.

Le Port de Cotonou est l'une des principales voies d'accès au commerce international pour le Bénin, mais également pour les pays voisins sans côtes littorales comme le Niger, le Burkina Faso et le Mali. Le Bénin partage cette fonction de transit avec des pays voisins comme le Togo et le Nigeria. Depuis sa mise en service en août 1965,

le port s'est doté progressivement d'infrastructures et superstructures. Il dispose d'un plan d'eau de 80 ha et couvre une superficie de 400 000 m<sup>2</sup>. Les ouvrages d'accostage sont composés de :

→ 9 postes à quai commerciaux ;  
→ 1 poste pour le chargement des huiles en vrac de 160 m relié par oléoduc au dépôt de stockage dans la ville ;

→ 1 poste de 100 m pour les chalutiers ;

→ 1 poste pétrolier / gaz de 250 m avec dépôt (concession BOT de la société ORYX).

La cote de dragage de ces postes est entre Z.H. -10 m et Z.H. -11 m (niveaux hydrographiques).

Le trafic de marchandises du Port de Cotonou a enregistré une augmentation

significative durant les dix dernières années. Doté d'une capacité théorique d'environ deux millions cinq cent mille tonnes de marchandises, il traite aujourd'hui plus de sept millions de tonnes. Il connaît de fait un engorgement pénalisant le développement économique du pays.

Le prolongement des quais existants à l'intérieur de la darse du port doit ainsi



permettre d'augmenter les capacités d'importation et d'exportation du pays. C'est dans ce but que le gouvernement américain finance, entre autres projets, la construction d'un nouveau quai de 546 ml et d'un retour ouest en fond de Darse de 114 ml. Ce quai, dragué à Z.H. -15 m pour des bateaux d'un tirant d'eau de 13,50 m, sera aménagé pour l'installation d'un terminal comprenant deux postes de déchargement de bateaux porte-conteneurs (postes à quai conventionnels) qui seront exploités par le Groupe Bolloré, titulaire de la concession octroyée par le Port Autonome de Cotonou (P.A.C.).

Les travaux de construction du quai comprennent le nivellement du terminal jusqu'à 70 cm sous le niveau final d'aménagement et la pose des rails de voies de roulement des futurs portiques, ainsi que les équipements de quai (défenses d'accostage, bollards). Le maître d'ouvrage est le MCA Bénin, structure ad hoc rattachée au gouvernement du Bénin, et le projet est entièrement financé par le Gouvernement des États-Unis d'Amérique à travers le Millennium Challenge Corporation (MCC), de sorte que l'ouvrage réalisé est ensuite transféré au Port Autonome de Cotonou. Le contrat signé par Soletanche Bachy en août 2009 est du type FIDIC jaune « Design and Build », et s'apparente à un contrat de conception – construction. Dans ce cadre-là, Soletanche Bachy a donc pu exprimer son savoir-faire d'entreprise générale en matière de conception et de réalisation d'ouvrages intégrés dans le sol.



2- Vue d'ensemble du chantier.

2- Overall view of the construction site.

### UNE VARIANTE AVANTAGEUSE EN PAROIS MOULÉES

Le site est localisé dans la partie sud de la darse du port de Cotonou. Il n'était pas exploité et était utilisé comme parking par les nombreux transporteurs transitant sur le port. La rive était à l'origine une plage sommairement protégée de l'érosion par des enrochements et des sacs de sable.

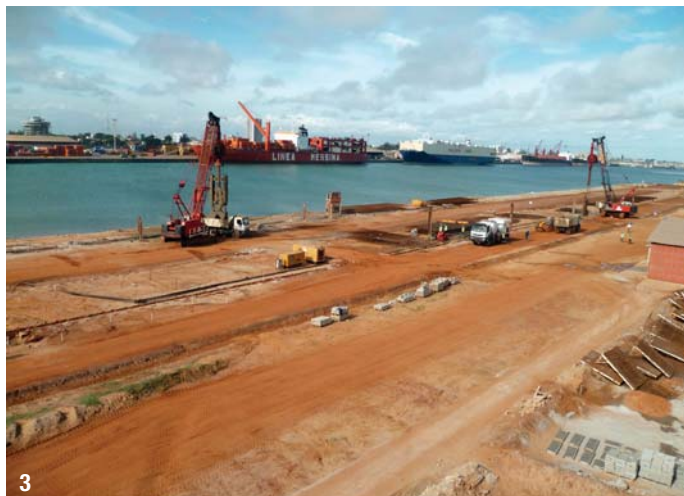
La solution de base du Marché prévoyait la construction de caissons préfabriqués alignés et munis d'équipements d'accostages (défenses et bollards). Ces caissons devaient être fondés sur des colonnes ballastées et le talus avant devait être recouvert d'enrochements protégeant ainsi de l'érosion le terrain supportant les caissons.

La réalisation d'un quai en paroi moulée présente un avantage significatif en évitant le dragage des terres en place à l'endroit du quai, ce qui permet d'économiser des moyens et du temps.

En outre, le dimensionnement fait correspondre la distance entre la paroi principale et la paroi de soutènement arrière avec l'espacement entre rails de portique. Les parois servent ainsi à la fois de soutènement et de fondation des voies de grue. La solution variante en parois moulées facilite également l'interface avec le quai existant exploité par Oryx en limite Est du Projet, en évitant les risques de déstabilisation des structures existantes (photo 2).

Une campagne géotechnique menée pendant la phase d'installation pour compléter la campagne d'études d'avant-projet, a permis à Sol Expert International, le bureau d'études en charge du projet pour Soletanche-Bachy, d'identifier précisément le profil géotechnique du site et d'optimiser le design.

Les couches de sol traversées par la paroi sont des sables supérieurs très fins et compacts, une couche intermédiaire d'argile et des sables moins compacts en partie inférieure. ▶



Les sables fins en tête donnent à la paroi, comme on le constate lors des terrassements, un aspect fini remarquable pour un ouvrage moulé par le sol. La structure principale de quai est constituée d'une paroi moulée avant de 1,00 m d'épaisseur, descendant à 30 m de profondeur par rapport au terrain naturel à Z.H. +3,50 m et d'une paroi de soutènement de 0,60 m d'épaisseur à 9 m de profondeur.

Ces deux parois sont reliées par un lit de tirants de 90 mm de diamètre et 30,50 m de long, espacés tous les 2.20 m.

Les poutres de couronnement seront les seules parties restant visibles et supporteront les rails. La poutre avant recevra également 29 défenses et 16 bollards d'amarrage de bateaux porte-conteneurs.

#### PARTICULARITÉS TECHNIQUES

Le site de construction se situe sur une langue de terre entre la darse du Port de Cotonou et l'océan. Dans ce contexte, sachant que les terrassements pour la pose des tirants descendent jusqu'à près de 7,00 m depuis le terrain naturel, il faut assurer les moyens suffisants pour rabattre la nappe phréatique sous ce niveau. Plusieurs solutions techniques ont été envisagées comme celle d'associer des parois au coulis en extrémité d'ouvrage pour constituer des barrières étanches au cas où le pompage seul ne suffirait pas. En effet, le site est entièrement entouré par la mer (Niveau moyen Z.H. 0,00 m). Il est donc difficile de prévoir l'efficacité du rabattement. Des essais de pompage ont été réalisés lors des 6 premiers mois de chantier et un suivi détaillé



**3- Excavation au KS des deux parois moulées.**

**4- Poste de préparation des poutres.**

**5- Poutre avant.**

**3- Excavation of the two diaphragm walls by KS machine.**

**4- Beam preparation station.**

**5- Front beam.**

du comportement des niveaux d'eau après coulage des premiers panneaux de parois a été mené. Ceci a permis de garantir le bon dimensionnement du système de rabattement : un puits tous les 15 ml entre les deux parois.

Les fermetures en paroi au coulis ont finalement été remplacées par des séries de puits plus rapprochés (photo 7).

#### RACCORDEMENT AU QUAI VOISIN (QUAI ORYX)

Le nouveau quai en construction se situe dans le prolongement du quai voisin, le quai du terminal gazier Oryx, construit en palplanches en 2000. Dans la zone de raccordement, des mesures particulières doivent être prises.

Un mur souterrain latéral de séparation en paroi moulée est construit pour protéger le terre-plein du terminal Oryx

## PHASAGE DES TRAVAUX EN PARTIE COURANTE

**PHASE 1 :** Délimitation de l'emprise du site, nivellement et préparation des plateformes. Remblai sur la darse de la plateforme de travail et protection de la digue provisoire par des enrochements, déviation des réseaux existants.

**PHASE 2 :** Réalisation des parois moulées avant et arrière grâce à deux grues équipées par des bennes excavatrices hydrauliques de type KS (photo 3).

**PHASE 3 :** Réalisation des poutres de couronnement avant et arrière (photos 4 et 5).

**PHASE 4 :** Installation du système de rabattement.

**PHASE 5 :** Terrassement, pose des tirants et remblai de la plateforme entre paroi jusqu'à 0,70 m sous le niveau final des terre-pleins (photo 6).

**PHASE 6 :** Dragages de Z.H. 0.00 m à Z.H. -15 m.

**PHASE 7 :** Installation des rails de voies de roulement des grues de déchargement.

**PHASE 8 :** Nivellement général du site.



pendant la phase de terrassement pour pose des tirants. Dans le prolongement du quai Oryx, des palplanches avaient été mises en place sur 60 ml, tirantées sur un rideau de palplanches arrière. Afin de pouvoir retirer tirants et palplanches dans cette zone correspondant à l'emplacement du nouveau quai, un remblai provisoire protégé par des big-bags de sable est réalisé dans la darse, entre les cotes Z.H. -10 m et Z.H. +3 m (photo 8). Ce remblai représente 11 500 m<sup>3</sup> de sable. Une fois le remblai terminé, les tirants sont coupés et la paroi construite.

Les palplanches sont ensuite retirées et le remblai provisoire dragué hors de la darse.

### DRAGAGES

L'une des principales problématiques du chantier fut celle des lieux de dépôts du sable dragué devant le futur quai. Ce sable devait être initialement intégralement transporté sur le chantier de réhabilitation de l'Epi de Sifato, sur la côte Est de Cotonou, qui connaît une forte érosion. Cependant, ces mêmes travaux ayant pris du retard, d'autres options d'évacuation ont dû être étudiées. L'une des propositions est de déposer directement le sable sur la plage au Sud du chantier, mais le volume global, représentant sur 1 km une bande de 100 m de large sur 6,00 m de haut, est trop important pour qu'il soit entièrement déposé sur la plage.

Le sable sera donc transporté pour être déposé sur une bien plus longue zone de plage, aux abords de la zone des Epis de Sifato, à l'Est du Port de Cotonou.

### UN ARRÊT DE CHANTIER PRÉJUDICIALE

La présence du terminal gazier voisin (stockage de Gaz Naturel Liquide) a conduit la maîtrise d'œuvre à organiser un audit extérieur, mené par l'entreprise Det Norske Veritas, sur les mesures à prendre pour que le chantier n'engendre pas de risques sur les installations et les opérations du terminal, et ne soit pas non plus exposé aux risques intrinsèques à l'exploitation de ce terminal gazier.

Suite à cet audit, le chantier a finalement été arrêté en pleine production pendant 6 semaines, du 16 juillet au 31 août 2010, période nécessaire au terminal pour renforcer son système d'alarme et de protection contre l'incendie.

Pour le déroulement du chantier, cet arrêt a été très pénalisant.



PHOTOS 6, 7 & 8 © SOLETANCHE BACHY

**6- Pose de tirants.**

**7- Première zone d'excavation entre parois.**

**8- Travaux de raccordement dans le prolongement du quai Oryx.**

**6- Placing tie anchors.**

**7- First excavation area between walls.**

**8- Connection work as an extension of the Oryx dock.**

D'une part, tout le programme d'approvisionnement n'a pas pu être idéalement adapté, compte tenu de la brutalité de l'arrêt et de sa durée indéterminée.

Pour exemple, un hangar entier a été loué localement pour permettre le stockage provisoire du ciment, arrivé en grande quantité de France, dans de bonnes conditions.

D'autre part, à la réouverture du chantier, des vols ont été constatés, des éboulements ont été observés au niveau des excavations en cours et enfin l'action des embruns et de l'air humide ont eu des effets néfastes sur les circuits électriques et hydrauliques des machines de travaux ainsi que sur les centrales à béton.

La phase de redémarrage a duré plus de 2 semaines, le temps de remettre les installations et les fouilles en état et de rendre le matériel opérationnel.

### LES CONTRAINTES DE TEMPS LIÉES AU FINANCEMENT ET L'ACCÉLÉRATION NÉCESSAIRE

Après cet arrêt de chantier, le planning des travaux a dû être révisé. Cependant, le programme de financement du projet par les États-Unis doit respecter une date de fin impérative des décaissements au 31 octobre 2011.

Des mesures d'accélération ont donc été négociées avec la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage, l'objectif étant d'achever les travaux, malgré tout, pour le 15 août 2011.

### PARTICULARITÉS D'UN CHANTIER DE CONSTRUCTION DE PAROI MOULÉE EN AFRIQUE

La paroi moulée est une technique de construction particulièrement bien adaptée au site du Port de Cotonou : plate-forme au niveau du terrain naturel, substratum sableux, profondeur définitive de dragage importante. Mais le bon déroulement du chantier a nécessité une logistique rigoureuse.

Afin de garantir le bon approvisionnement du béton, deux centrales à béton neuves de capacité 60 m<sup>3</sup>/h ont été installées sur le site même par Sogea Satom, filiale du groupe Vinci opérant en Afrique et sous-traitant principal pour les travaux de génie-civil (photo 9). Le ciment, a été importé, les fabricants au Bénin ne garantissant pas la qualité « prise mer » impérative dans cet environnement. Le sable de Dêkougbe, près de Calavi, et le gravier, du granite concassé, sont d'origine locale. Tous les adjuvants au béton doivent être importés, tout comme la bentonite pour la perforation des parois.

De même, les barres d'aciers pour les armatures métalliques de l'ouvrage sont importées, puis coupées et assemblées sur place. Les tirants sont également importés d'Allemagne, les défenses de Singapour et d'Inde.

Sur un tel chantier où le matériel d'excavation est spécifique, la gestion mécanique des engins et des pièces de rechange est déterminante. En effet, tout approvisionnement par bateau requiert plusieurs semaines de délais. En plus du temps de transport maritime, l'entrée même des bateaux au port prend parfois près d'une semaine car la file d'attente au large est souvent importante. Les importations passent ensuite la douane et sont enfin transportées sur site après plusieurs jours, compte tenu de l'engorgement du Port. Ainsi, le chantier subit en première ligne la situation commerciale qu'il est susceptible d'améliorer (photo 10).

**LES MESURES SOCIALES  
ET ENVIRONNEMENTALES**

Le financement des États-Unis sur un tel projet implique également des exigences fortes de la part de la maîtrise d'ouvrage, le Millennium Challenge Account Bénin, quant à l'organisation des travaux, la gestion de la main-d'œuvre, les mesures sanitaires et la protection environnementale.

En outre, les intervenants locaux et les ouvriers béninois ont dans ce même cadre des attentes particulières vis-à-vis d'une grande entreprise française au Bénin, qui plus est, lorsqu'elle fait partie du Groupe VINCI.

Le MCA-Bénin demande un suivi de l'emploi de la main d'œuvre locale.

Les rapports mensuels sur le progrès des travaux incluent en particulier un registre du personnel local employé avec leurs conditions salariales (photos 11 et 12).

L'emploi des Béninois n'est pas restreint à la main-d'œuvre d'exécution. L'encadrement des équipes et les services techniques du chantier sont également assurés par des Béninois : projeteur, responsable sécurité-environnement, responsable de la qualité. Ce personnel représente un appui important pour les expatriés qui interviennent en encadre-



ment général. Les aspects techniques délicats, les travaux de spécialité et les phases d'organisation particulières du chantier rendent cependant indispensables l'intervention et la maîtrise d'une entreprise internationale sur un tel chantier.

**SENSIBILISATION SÉCURITÉ**

Afin de faire prendre conscience au personnel des risques encourus lors de ces travaux de grande ampleur, des

**9- Tête de paroi recépée et centrale à béton.**

**10- Travaux en cours en fond de darse.**

**11- Équipement d'une cage d'armatures.**

**9- Cut-off wall cap and concrete mixing plant.**

**10- Work in progress in the bottom of the dock.**

**11- Fitting a concrete reinforcing cage.**



11

PHOTOS 9, 10 & 11 © SOLETANCHE BACHY





PHOTOS 12 & 13 © SOLETANCHE BACHY

12



13

réunions sécurité hebdomadaire sont organisées par équipe. Des échanges concernant les différentes phases de travaux, les opérations délicates (manutention, bétonnage, terrassement de fouilles, travaux en hauteur...) ont lieu et des rappels systématiques très fréquents sont nécessaires pour modifier les comportements d'une population peu habituée à de telles précautions. La persévérance paie puisque tout le personnel sans exception porte ses équipements de protection individuels. Tout est mis en œuvre pour que la propreté et la tenue générale du chantier en termes de signalisation et de voie de circulation soient comparables aux standards européens. Pour valoriser les efforts maintenus par l'ensemble du personnel, un « diplôme sécurité » est attribué chaque mois à l'équipe de travail la plus sérieuse en termes de respect des consignes et d'entretien de son poste de travail. Les ouvriers qui le méritent en tirent visiblement une belle fierté (photo 13).

**12- Bétonnage de paroi moulée.**

**13- Diplôme sécurité.**

**12- Diaphragm wall concreting.**

**13- Safety diploma.**

Le chantier dispose d'une infirmerie très sollicitée par les Béninois pour qui l'accès aux médicaments est un luxe. Des réunions générales mensuelles de sensibilisation et de formation concernant les risques liés aux Maladies Sexuellement Transmissibles, comme le SIDA, qui touchent une part significative de la population Béninoise, sont organisées et donnent lieu à la distribution de boîte de préservatifs au personnel local. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Millennium Challenge Account - Benin

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Royal Haskoning Nederland B.V.

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :** Solétanche Bachy (Groupe VINCI)

**SOUS-TRAITANTS PRINCIPAUX :** Sogea Satom (Groupe VINCI) désignés depuis l'appel d'offres

**DATES DE TRAVAUX :** Décembre 2009-juin 2011, prolongé jusqu'à août 2011

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**PAROIS MOULÉES :** 24 000 m<sup>3</sup>

**POUTRES DE COURONNEMENT :** 4 400 m<sup>3</sup>

**ACIERS (PAROIS ET GÉNIE CIVIL) :** 3 600 tonnes

**TIRANTS PASSIFS DE 30,50 ML :** 300 Unités

**TERRASSEMENT PUIS REMBLAIS :** 100 000 m<sup>3</sup>

**DRAGAGES :** 690 000 m<sup>3</sup>

**NIVELLEMENT FINAL DU SITE :** 165 000 m<sup>2</sup>

**POSE DE VOIE DE PORTIQUES :** 520 ml

### ABSTRACT

## CONSTRUCTION OF TWO NEW BERTHS IN THE PORT OF COTONOU (BENIN)

SARA CASCARINO, SOLETANCHE BACHY

**A donation agreement signed on 22 February 2006** between the government of Benin and the government of the United States of America is designed to allow the performance of four major projects in Benin. One of them, entitled «Market Access», having a total budget of around USD 169.5m, aims mainly to develop the Port of Cotonou, and involves the creation of two additional berths for operation of a new container unloading terminal. This project was won by Solétanche Bachy thanks to an attractive variant solution, based on the construction of two diaphragm walls which serve both as a dock retaining structure and as foundations for the crane tracks of the future handling gantries. □

## CONSTRUCCIÓN DE DOS NUEVOS AMARRADEROS EN EL PUERTO DE COTONOU (BENIN)

SARA CASCARINO, SOLETANCHE BACHY

**Un acuerdo de donación firmado el 22 de febrero de 2006** entre el Gobierno de Benin y el Gobierno de Estados Unidos debe permitir realizar cuatro importantes proyectos en Benin. Uno de ellos, denominado "Acceso a los Mercados", cuyo presupuesto se eleva en total a cerca de 169,5 millones de dólares estadounidenses, tiene como principal objetivo el desarrollo del Puerto de Cotonou e incluye la creación de dos amarraderos suplementarios para la explotación de un nuevo terminal de descarga de contenedores. Solétanche Bachy ha obtenido este proyecto gracias a una ventajosa solución alternativa, basada en la construcción de dos paredes moldeadas que sirven a la vez de contención del muelle y de cimentación para las vías de grúas de los futuros pórticos de manutención. □

# LUTTE CONTRE LES INONDATIONS DE LA FESCHOTTE (DOUBS) : UN CHANTIER INTÉGRÉ EN SITE URBAIN

AUTEURS : BENOÎT CORTIER ET LAURENT DUPERRAY, HYDRATEC - ARNAUD BOLLERY, EPTB SAÔNE ET DOUBS, PAYS DE MONTBÉLIARD AGGLOMÉRATION

LE COURS D'EAU DE LA FESCHOTTE (DOUBS) CONNAISSAIT DES DÉBORDEMENTS TRÈS FRÉQUENTS (UNE FOIS TOUS LES DEUX ANS ENVIRON), ENTRAÎNANT L'INONDATION DE DIZAINES D'HABITATIONS ET DE VOIES DE COMMUNICATION. AFIN DE RÉDUIRE LA FRÉQUENCE DES INONDATIONS, DES TRAVAUX FAISANT APPEL À DES TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DE COURS D'EAU TRÈS DIVERSES ONT ÉTÉ ENTREPRIS ENTRE 2008 ET 2009. LES FORTES CONTRAINTES D'EMPRISES ET LA NÉCESSITÉ DE RESTAURER LA QUALITÉ ÉCOLOGIQUE DU RUISSEAU ONT REQUIS LA MISE EN ŒUVRE INTÉGRÉE DE TECHNIQUES DE GÉNIE CIVIL ET DE GÉNIE ÉCOLOGIQUE. LE RÉSULTAT EST UN COURS D'EAU ÉLARGI, OUVERT SUR LES PROPRIÉTÉS RIVERAINES, OFFRANT DES BERGES ACCUEILLANTES ET TRÈS BIEN TRAITÉES SUR LE PLAN PAYSAGER.



1- Élargissement du cours d'eau par mise en place d'une berme submersible uniquement en période de crue.

1- Widening the watercourse by installing a berm submersible only in times of flooding.

© HYDRATEC

2- Cours d'eau avant travaux dans les propriétés privées.

3- Pont réduisant la section d'écoulement du ruisseau.

4 & 5- Mise en place des cages électro-soudées sur matelas anti-affoulement.

6- Soutènement en palpeilles au droit des habitations.

7- Dérivation provisoire des écoulements par mise en place de groupe électro-pompe de 4 000 m<sup>3</sup>/h.

2- Watercourse before work on the private properties.

3- Bridge reducing the cross section of the stream's flow.

4 & 5- Installation of the electrically welded cages on an anti-scouring mattress.

6- Retaining structure of steel sheet piling at the level of the houses.

7- Temporary flow diversion by setting up an electric pump set of capacity 4,000 m<sup>3</sup>/h.



PHOTOS 2 A 7 © HYDRATEC

## DES DÉBORDEMENTS TRÈS FRÉQUENTS

Petit cours d'eau affluent de l'Allan situé sur la commune de Feschel-le-Châtel (Doubs), la Feschotte était très contrainte dans un lit rendu étroit par de nombreux remblais réalisés par les riverains, et présentait des ponts au gabarit insuffisant (photos 2 et 3). Les débordements se produisaient ainsi à partir du débit de fréquence annuelle à biennale, soit environ 4 m<sup>3</sup>/s.

Les berges érodées en de nombreux endroits étaient stabilisées avec des techniques sommaires et mal adaptées (tôles ondulées, poteaux électriques, parpaings...), dénaturant fortement le ruisseau. Les travaux en terrains privés ont nécessité de multiplier différentes techniques d'aménagement du lit et des berges. Les travaux réalisés ont porté sur :  
→ L'établissement d'un nouveau lit sur le tracé antérieur dans la zone indus-

trielle de l'usine Bedeville, située en amont du projet ;  
→ L'élargissement du cours d'eau dans la traversée des propriétés privées sur un linéaire de 1 075 m ;  
→ La reconstruction de sept ouvrages de franchissement (trois passerelles et quatre ponts) ;  
→ La réalisation d'un barrage à pertuis ouvert en amont de la zone protégée permettant de stocker le volume correspondant aux débordements anté-

rieurs se produisant dans la traversée de l'agglomération, et d'éviter ainsi une aggravation des crues en aval. Afin de permettre aux riverains de garder la jouissance de leurs terrains hors période de crue, le parti d'aménagement proposé par le maître d'œuvre a consisté à réaliser des bermes submersibles uniquement en cas de crue et de marier différentes techniques de soutènement et de protection de berges pour respecter les contraintes d'emprises ▷



PHOTOS 8 A 11 © HYDRATEC

8 & 9- Remplacement des anciens ouvrages par des ponts-cadres coulés en place.

10 & 11- Techniques de protection de berge alliant le minéral et le végétal (fascines de saules et d'hélophytes, gabions cages, sacs gabions et tunage bois).

12- Vue aérienne de la retenue sèche de Dampierre-les-Bois et de la digue déversante.

13- Digue traitée pour résister aux surverses, avec pertuis ouvert et dispositif anti-embâcles constitué de trois pieux en béton ancrés dans le radier de l'ouvrage.

8 & 9- Replacement of the old structures with cast-in-situ frame bridges.

10 & 11- Bank protection techniques combining mineral and vegetable elements (fascines of willows and helophytes, gabion cages, gabion sacks and wooden posts and planking).

12- Aerial view of the dry reservoir of Dampierre-les-Bois and the overflow dyke.

13- Dyke treated to resist overflows, with open sluice and anti-ice jam device consisting of three concrete piles anchored in the structure's invert.

et les délais de réalisation très courts imposés par le maître d'ouvrage (photo 1).

### SOUTÈNEMENT DES BERGES

La technique de soutènement par gabions à cages électro-soudées a été préférée aux gabions à grille double torsion pour sa rapidité de mise en œuvre. Les gabions ont été posés en associant, lorsque les emprises le permettaient, un retalutage de la partie supérieure de la berge et sa revégétalisation (boutures

et arbustes à racines nues associées à des géotextiles biodégradables). Les gabions à cages électrosoudées ont été mis en place sur un matelas type Réno préalablement posé dans le fond du lit, permettant d'assurer une assise stable et d'accompagner l'évolution du lit. La technique des gabions à cages rigides électrosoudées sur matelas anti-affoulement a ainsi permis de traiter de 20 à 40 m de berge par jour (photos 4 et 5).

Les emprises limitées durant le chantier et les fortes contraintes hydrauliques ont nécessité la mise en place de soutènements spécifiques en palpeilles PAU 2260 à proximité des bâtiments (photo 6), et d'importants dispositifs de pompage et de busage provisoires des écoulements du cours d'eau (photo 7). Les ouvrages de franchissement de type pont-cadre fermé ont été coulés en place (photos 8 et 9) après dérivation du cours d'eau et des réseaux

humides et secs (gaz, électricité, France Télécom, EP, EU, AEP).

### DES TECHNIQUES DE PROTECTION DE BERGES ALLIANT MINÉRAL ET VÉGÉTAL

La diversité des techniques de protection employées a permis de s'adapter aux nombreuses particularités du terrain et de tenir compte des bâtiments et ouvrages existants en bordure du cours d'eau. Les techniques végétales

ont été largement utilisées pour assurer la protection des pieds de berge et des talus : fascines de saules et d'hélophytes, avec mise en place de boutures de différentes essences de saules et d'arbustes à racines nues. Le résultat est un cours d'eau élargi permettant de gérer la crue décennale et restauré sur le plan de l'environnement (photos 10 et 11).

### UNE RETENUE SÈCHE AVEC BARRAGE À PERTUIS OUVERT

La loi sur l'eau impose de stocker un volume d'eau identique au volume de débordement supprimé par les travaux de recalibrage, afin de ne pas aggraver le débit de crue en aval. Pour ce faire, une retenue sèche située en amont sur la commune de Dampierre-les-Bois a été réalisée dans une cuvette naturelle constituant le lit majeur de la Feschotte. Un barrage constitué d'une digue surversante en remblai et muni d'un pertuis ouvert permet de stocker le volume d'eau nécessaire en période de crue (photo 12). Le pertuis sous la digue est dimensionné pour laisser passer la crue décennale avant surverse au-dessus du déversoir de sécurité. Le pertuis est muni d'un dispositif anti-embâcles composé de trois pieux en béton armé disposés en quinconce et encastrés dans le radier de l'ouvrage, afin d'éviter les risques d'obstruction prématurée lors des crues (photo 13).

### UN OUVRAGE INTÉRESSANT LA SÉCURITÉ PUBLIQUE

La digue, qui constitue un ouvrage hydraulique intéressant la sécurité publique au titre du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007, a été réalisée

avec des matériaux de classe A1 et A2 préalablement aérés et compactés au pied de mouton. Elle est fondée sur des matériaux argilo-limoneux sans purge préalable (un simple décapage de la

**14- Station de mesures télétransmises des niveaux d'eau dans la retenue.**

**14- Station for remote transmission of water levels measured in the reservoir.**



terre végétale sur 0,5 m de profondeur a été réalisé), afin de garantir l'imperméabilité des terrains sous l'ouvrage. La perméabilité des matériaux de la digue, inférieure à  $10^{-6}$ , s'avère compatible avec la vocation de l'ouvrage, destiné au stockage temporaire des volumes de crue. La digue est capable de résister aux surverses qui se produiront à partir des crues décennales grâce au renforcement du parement aval de l'ouvrage par un tapis anti-affouillement en gabion se poursuivant en aval. Le réglage fin de la surverse et la bonne répartition de la lame surversante sont assurés par une longrine en béton courant sur les 80 m de longueur du déversoir. Le barrage

est équipé d'un système de mesure automatique des niveaux d'eau et des débits transitant à travers le pertuis de la digue (photo 14). Ces mesures sont télétransmises, via le réseau RTC, à un superviseur installé au siège du Pays de Montbéliard Agglomération. Elles permettent de surveiller en temps réel l'évolution des débits dans la Feschotte et le remplissage de la retenue.

### SITÔT RÉCEPTIONNÉS, SITÔT EFFICACES

Les aménagements juste réceptionnés fin 2009 ont permis d'éviter les inondations chez les riverains lors des crues hivernales de 2009 et 2010, à leur entière satisfaction. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS & CARACTÉRISTIQUES

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Pays de Montbéliard Agglomération

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Hydratec (mandataire), Setec Als, Terrasol

**ENTREPRISES :** Climent TP, GTM terrassement, Richert, Techno Vert

**MONTANT DES TRAVAUX :** 4 millions d'euros HT

**DURÉE DES TRAVAUX :** 14 mois

**VOLUME DES MATÉRIAUX DE DÉBLAIS DANS LE LIT DE LA FESCHOTTE :** 16 000 m<sup>3</sup>

**VOLUME DES GABIONS POUR PROTECTION DE BERGE :** 2 600 m<sup>3</sup>

**LINÉAIRE DES BERGES PROTÉGÉES EN TECHNIQUE VÉGÉTALE ET GABION :** 2 600 m

**NOMBRE DE PONTS RECONSTRUITS :** 4 ponts et 3 passerelles

**VOLUME UTILE POUR LE STOCKAGE DYNAMIQUE DE LA CRUE DÉCENNALE DANS LA RETENUE DE DAMPIERRE :** 20 000 m<sup>3</sup>

**HAUTEUR/VOLUME DU BARRAGE DE DAMPIERRE-LES-BOIS AU-DESSUS DU TERRAIN NATUREL :** 2,6 m / 3 000 m<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### FLOOD CONTROL ON THE FESCHOTTE (DOUBS REGION): A PROJECT INTEGRATED INTO AN URBAN SITE

HYDRATEC: BENOÎT CORTIER, LAURENT DUPERRAY - ARNAUD BOLLERY, EPTB

**The Feschotte watercourse (Doubs region) overflowed very frequently (about once every two years), resulting in the flooding of dozens of houses and communication routes. To reduce the frequency of flooding, work involving a great variety of watercourse improvement techniques was undertaken between 2008 and 2009. Given the major land area constraints and the need to restore the ecological quality of the stream, the integrated use of civil engineering and ecological engineering techniques was required. The result is a widened watercourse open to the bordering properties, offering pleasant banks very well treated from the landscaping viewpoint. □**

### LUCHA CONTRA LAS INUNDACIONES DEL ARROYO FESCHOTTE (DOUBS): UNA OBRA INTEGRADA EN UN EMPLAZAMIENTO URBANO

HYDRATEC: BENOÎT CORTIER, LAURENT DUPERRAY - ARNAUD BOLLERY, EPTB

**El arroyo Feschotte (Doubs) se desbordaba muy a menudo (aproximadamente cada dos años), provocando la inundación de decenas de viviendas y de vías de comunicación. Para reducir la frecuencia de las inundaciones, entre 2008 y 2009 se iniciaron obras que recurrían a técnicas muy diferentes de aprovechamiento del arroyo. Los importantes requisitos de los derechos de propiedad y la necesidad de restaurar la calidad ecológica del arroyo requirieron la aplicación integrada de técnicas de ingeniería civil y ecológica. El resultado es un arroyo más ancho abierto a las propiedades vecinas que ofrece orillas acogedoras y muy bien gestionadas desde el punto de vista paisajístico. □**

# LES FONDATIONS DU PONT LEVANT BACALAN-BASTIDE À BORDEAUX

AUTEURS : GILLES VANBREMEERSCH, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION - SÉVERINE FLAJOULOT, INGÉNIEUR QPE, VINCI CONSTRUCTION -  
MATHIEU CARDIN, ADJOINT AU CHEF DE PROJET, EGIS JMI

LE PONT BACALAN-BASTIDE, À BORDEAUX, QUI SERA LIVRÉ ENTRE FIN 2012 ET DÉBUT 2013, EST REMARQUABLE PAR SES CARACTÉRISTIQUES DE PONT LEVANT, MAIS ÉGALEMENT EN RAISON DE SES FONDATIONS DANS LA GARONNE, QUI CONDUISENT À DE TRÈS IMPORTANTS TRAVAUX EXÉCUTÉS DANS DES CONDITIONS DIFFICILES. CET ARTICLE DÉCRIT LA RÉALISATION DES FONDATIONS ET DES TRAVAUX MARITIMES DE CET OUVRAGE EXCEPTIONNEL.

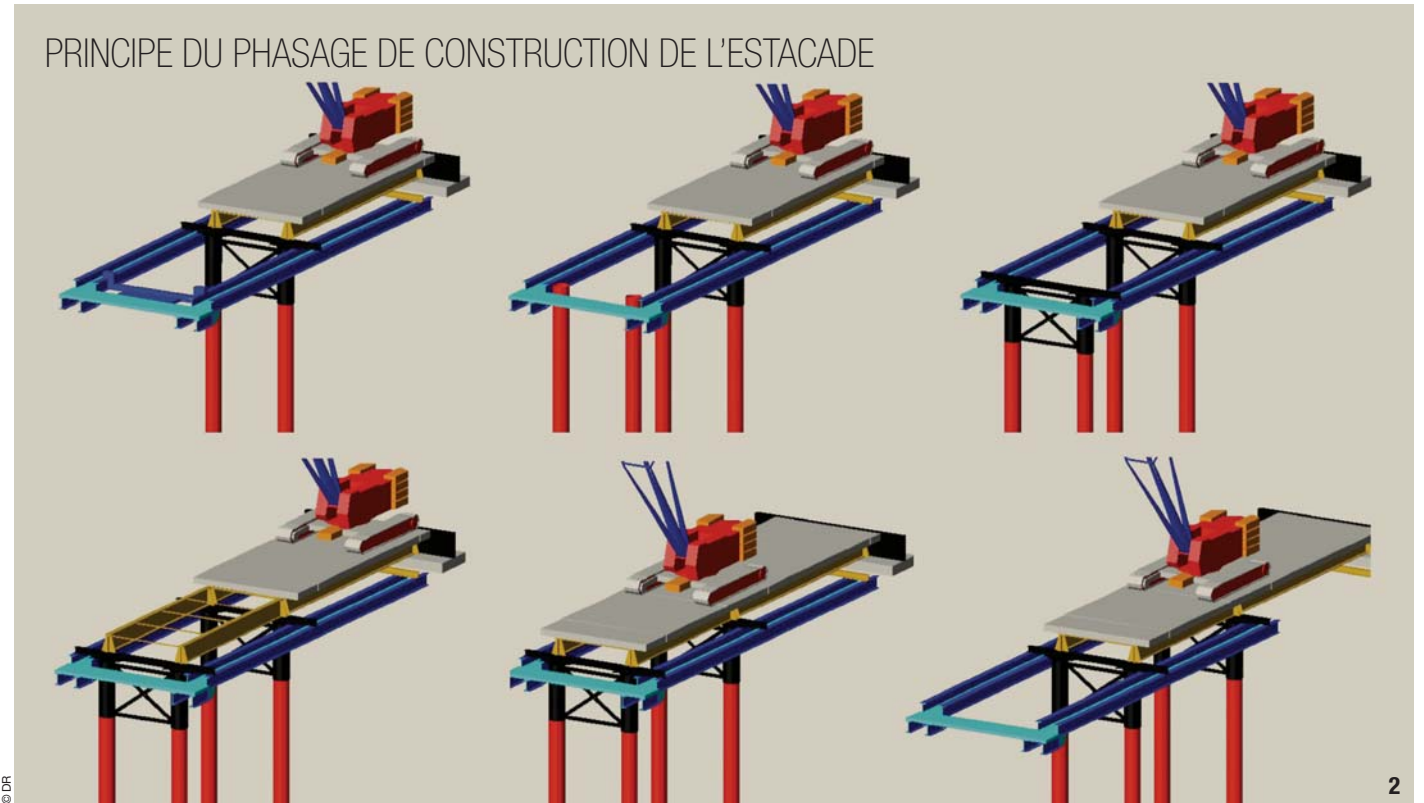


1 - Photomontage  
de l'ouvrage  
terminé.

1 - Photomontage  
of the completed  
structure.

© THOMAS LAVIGNE

## PRINCIPE DU PHASAGE DE CONSTRUCTION DE L'ESTACADE



© DR

2

### UN NOUVEAU FRANCHISSEMENT DE LA GARONNE

La réalisation, en cours, du pont levant Bacalan-Bastide à Bordeaux résulte d'une très longue histoire. Bordeaux est, depuis toujours, un port installé sur la rive gauche de la Garonne qui n'envisageait pas de communications vers la rive droite, considérée comme la campagne !

Ce n'est qu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle qu'un premier pont (le magnifique pont de Pierre) fut construit. Depuis cette époque, à l'exception des deux ponts autoroutiers de la rocade (pont d'Aquitaine au nord dans les années 1960, et pont François-Mitterrand au sud dans les années 1990), un seul nouvel

**2- Principe du phasage de construction de l'estacade.**

**3- Battage des pieux de l'estacade.**

**4- Pose des chevêtres de l'estacade.**

**2- Schematic of jetty construction scheduling.**

**3- Jetty pile driving.**

**4- Placing jetty crossbeams.**

ouvrage de franchissement urbain a été créé au droit de la gare Saint-Jean. Pour une agglomération de 800 000 habitants qui cherche à s'étendre de part et d'autre de la Garonne, de nouveaux franchissements étaient donc indispensables.

Le maître d'ouvrage (communauté urbaine de Bordeaux ou CUB) a ainsi lancé l'étude, dans les années 1990, d'un ouvrage permettant de traverser la Garonne en aval du pont de Pierre. Après l'abandon de plusieurs implantations, le futur franchissement a été prévu entre les quartiers Bacalan (rive gauche) et Bastide (rive droite), à mi-distance du pont de Pierre et du pont d'Aquitaine.

### PERMETTRE LE PASSAGE DES PAQUEBOTS

La principale contrainte, résultant de la volonté des Bordelais de conserver une vocation de port pour la ville de Bordeaux, était que ce nouveau franchissement ne supprime pas la possibilité de venue de gros navires en centre-ville. Plusieurs options ont été envisagées : tunnel, pont à travée de grande hauteur, pont mobile... C'est cette dernière option qui a été retenue, car elle permet de maintenir les circulations urbaines (voitures, bus et/ou tramway, cycles et piétons), en vue de créer un vrai lien urbain dans Bordeaux.

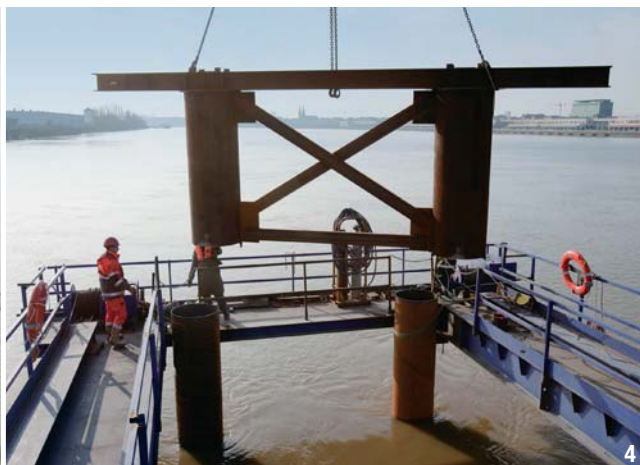
Le pont mesurera 440 m de long, 45 m de large, et comprendra quatre voies routières, deux voies de tramway et des passerelles pour piétons et cycles (figure 1).

Il inclura une travée levante de 120 m permettant un tirant d'air de 55 m, le passage de paquebots jusqu'à 250 m de long, ainsi que de tous les navires militaires ou historiques (l'ensemble représentant une trentaine d'allers-retours par an).

Un appel d'offres en conception-construction a été lancé en 2004, à l'issue duquel le groupement GTM-JMI a été retenu début 2006. Après négociation du marché, ce dernier a été notifié en décembre 2007. Il prévoit une période de 18 mois de mise au point du projet, suivie de 33 mois d'exécution.



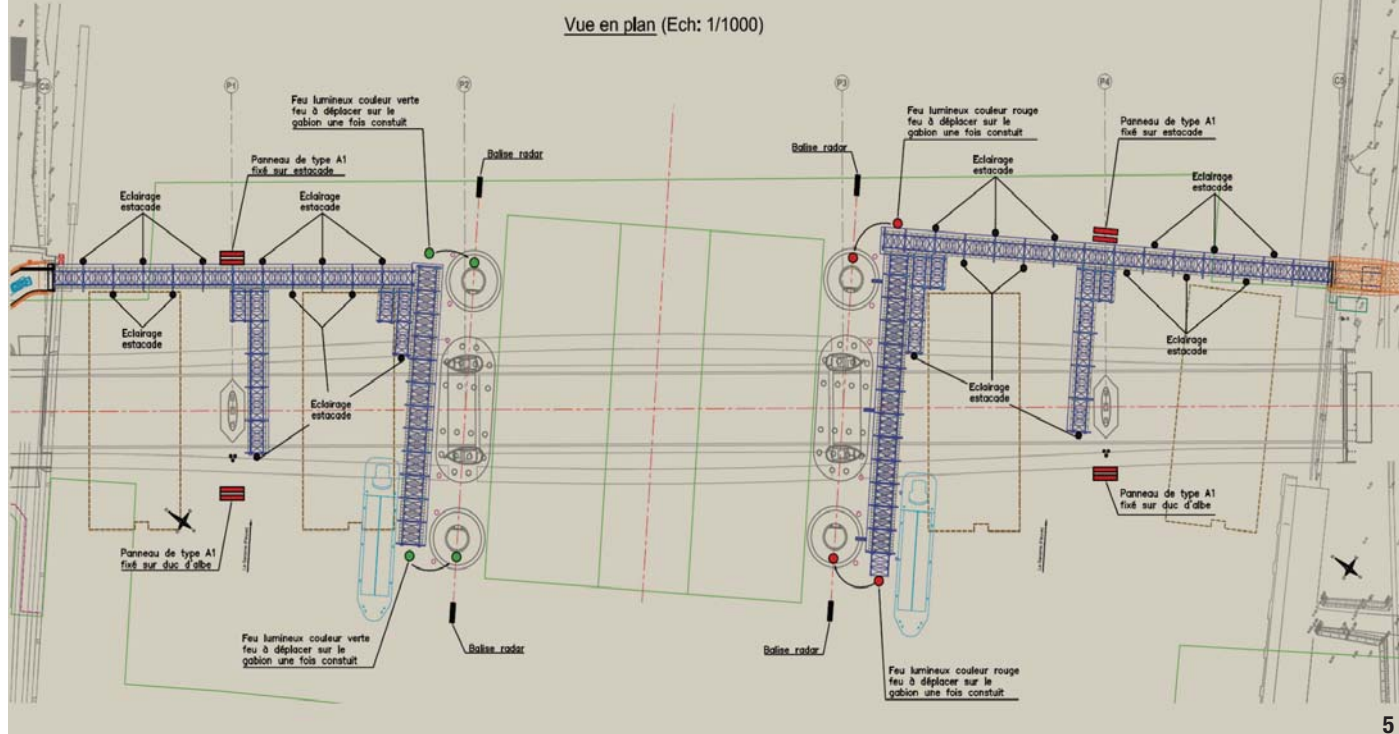
3



4

PHOTOS 3 & 4 © RICHARD NOURRY

## VUE EN PLAN DES DEUX ESTACADES



5

Un certain nombre de péripéties (recours d'associations, évolution du projet à la demande de l'Unesco...) ont conduit à quelques modifications, puis à un démarrage des travaux en octobre 2009, pour une livraison prévue fin 2012 ou début 2013.

### UN CONTEXTE GÉOTECHNIQUE DIFFICILE

Le contexte géotechnique du site est bien entendu intimement lié au fleuve. Le fond du lit, situé à environ 10 mètres sous le niveau moyen de la Garonne, est constitué d'argiles vasardes.

Le niveau de consolidation de ces matériaux varie avec la profondeur : de la crème de vase, fluide et mobile, en surface, jusqu'à des argiles consolidées de 5 bars de pression limite à deux à trois mètres sous le niveau du lit.

Ces argiles surmontent des sables alluvionnaires dont l'épaisseur varie de 1 à 5 mètres en rive gauche, et de 10 à 13 mètres en rive droite. Leur granulométrie est variable, allant des sables fins jusqu'aux graves.

Le substratum est constitué de marnes compactes, présentant de bonnes caractéristiques mécaniques (pression limite supérieure à 5 MPa).

### FONDACTIONS DE L'OUVRAGE

Le pont Bacalan-Bastide est fondé sur six appuis :

→ Deux culées (C0 en rive gauche et C5 en rive droite) ;

→ Deux piles intermédiaires (P1 et P4) ;

→ Deux embases au centre de la Garonne (P2 et P3) supportant les quatre pylônes de la travée levante, auxquelles il faut ajouter 2 x 2 îlots de protection permettant d'absorber les chocs de bateaux. Aux fondations imposées par ces appuis s'ajoute la réalisation de deux grandes estacades en rivière (2 x 300 m en forme de F), dimensionnées pour sup-

### 5- Vue en plan des deux estacades.

### 6- Mise en eau des caissons dans la forme de radoub.

### 5- Plan view of the two jetties.

### 6- First filling of caissons in the dry dock.

porter des grues de 200 t et permettant d'accéder aux appuis intermédiaires, ainsi qu'aux pylônes et îlots de protection en rivière. Il s'agit donc d'un important chantier de travaux maritimes et de fondations, le tout dans les conditions toujours changeantes de la Garonne. Il a été choisi, compte tenu du savoir-faire des entreprises du groupement, de les réaliser en propre, à l'exception de quelques interventions (dragages, travaux subaquatiques, remorquages...).



6





### 600 m D'ESTACADES

Les estacades constituent un ouvrage provisoire fondamental pour le déroulement du chantier. Le groupement a donc investi dans un outil conçu par son service méthodes pour réaliser l'estacade à l'avancement en partant des rives. Cet outil est constitué d'une charpente qui se lance à l'aide de la grue et qui sert au guidage des pieux de 800 mm lors du vibrofonçage en rivière à 26 m de profondeur sur le toit des marnes (figures 2 et 3).



7- Vue aérienne de l'embase.

8- Remorquage d'un îlot ; attente de la marée à proximité du pont d'Aquitaine.

9- Remorquage de l'embase en rivière.

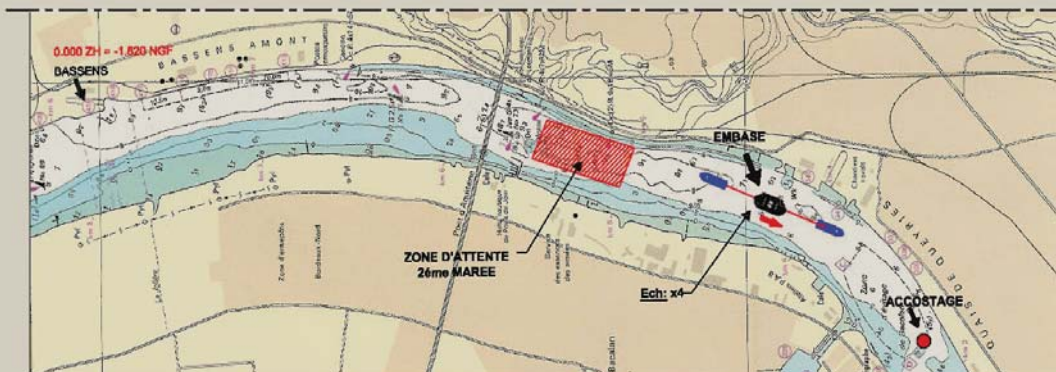
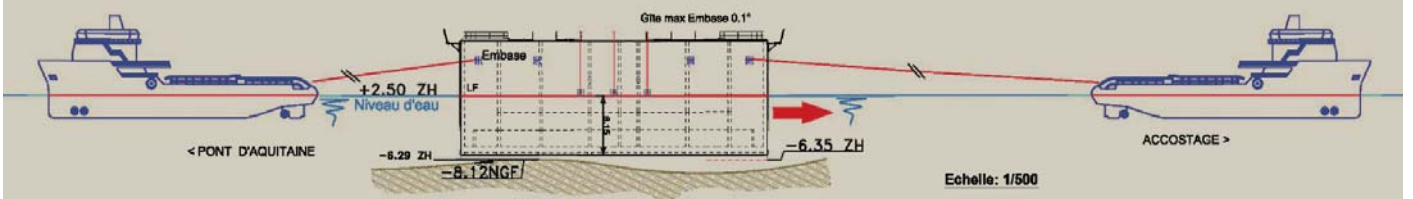
7- Aerial view of the pylon base.

8- Towing a unit; waiting for the tide near the Aquitaine bridge.

9- Towing the base in the river.

PHOTOS 7 & 8 © RICHARD NOURYRY

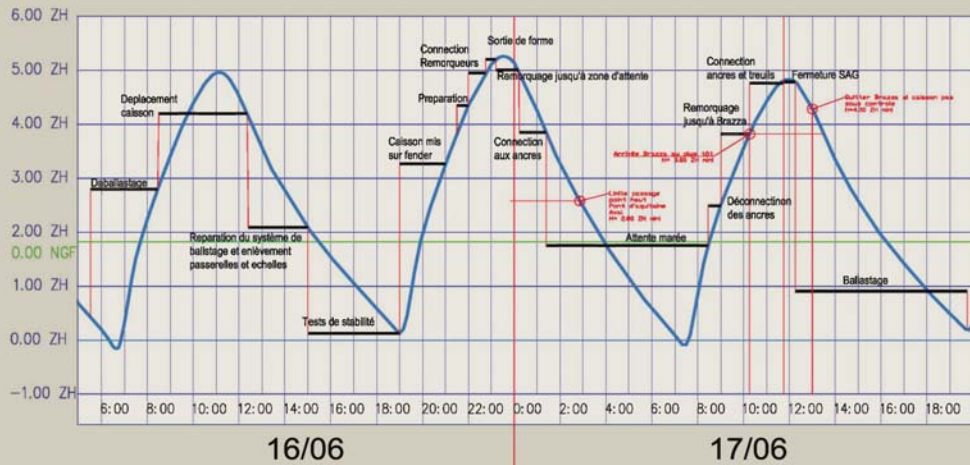
### REMORQUAGE DE L'EMBASE EN RIVIÈRE



**ZONE D'ATTENTE** = Possibilité de maintenir le caisson dans cette zone pour attendre la marée suivante

© DR 9

## PHASAGE DES OPÉRATIONS DE REMORQUAGE EN FONCTION DE LA MARÉE



10

**10- Phasage des opérations de remorquage en fonction de la marée.**

**11- Fermeture des pinces d'accostage sur les pieux de guidage.**

**10- Scheduling of towing operations according to the tide.**

**11- Closing of clamps on the guide piles.**

Une fois foncés, les pieux sont recépés au chalumeau avec une tolérance de +/- 1 cm, puis le chevêtre est mis en place par simple enfillement dans les pieux (photo 4).

Une structure métallique de 10 m de portée constituée de deux poutres en HEB900 contreventées entre elles est installée en une seule fois grâce à la grue. Cette structure supporte des dalles BA préfabriquées permettant de reprendre des charges apportées par

une grue mobile de 200 t, ainsi que toute la circulation du chantier : engins, toupies, levages... (figure 5). La réalisation de ces 600 m d'estacade s'est déroulée entre novembre 2009 et août 2010, dans de bonnes conditions (une travée de 10 m tous les deux jours en phase « standard »). Ces estacades seront démontées à reculons au fur et à mesure de l'avancement des travaux, notamment pour la pose des travées du tablier à partir de l'été 2011.

### DES COURANTS TRÈS IMPORTANTS

La Garonne, au niveau de Bordeaux, est un fleuve « compliqué ». En effet, bien que le site soit situé à près de 100 km de la mer, l'influence des marées y reste très présente (inversion du courant, marnage atteignant 5 m). S'y ajoutent d'importantes surcotes résultant de fortes pluies, de la fonte des neiges, ou de tempêtes en mer qui modifient le comportement du fleuve. Tout cela

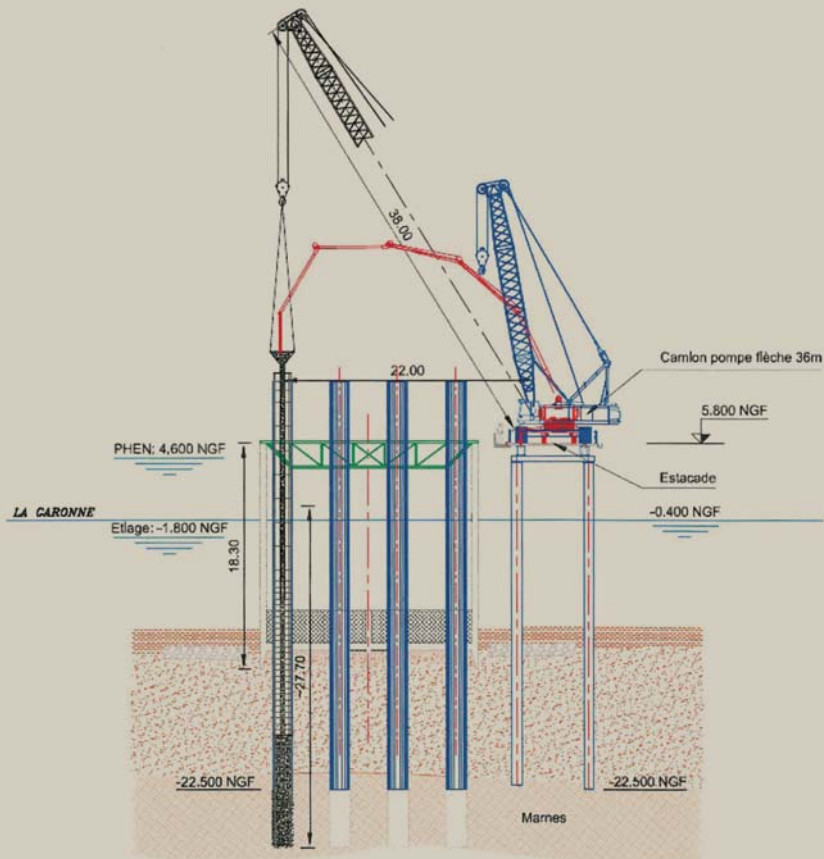
entraîne notamment de très importants courants qui génèrent de forts risques d'affouillements. Dans ces conditions, et pour gagner du temps sur le planning, le groupement a choisi une solution de préfabrication en forme de radoub des fondations des pylônes supports de la travée levante, ainsi que de leurs flots de protection. Une grande cale sèche existe en effet à Bassens (4 km du site). Cette option permettait de réaliser les estacades d'accès à l'ouvrage en paral-



11

© RICHARD NOURY

## RÉALISATION DES PIEUX DU CAISSON PRINCIPAL À TRAVERS DES OPERCULES



© DR 12



© RICHARD NOURRY 13

## PLANNING DES TRAVAUX

**OCTOBRE-NOVEMBRE 2009** : Installations

**NOVEMBRE 2009-MAI 2010** : Préfabrication en forme de radoub des îlots et de l'embase rive droite

**MARS-MAI 2010** : Réalisation des pieux puis du génie civil de la culée rive droite

**AVRIL-MAI 2010** : Dragage des souilles rive droite et rive gauche, puis mise en œuvre du lit de pose

**AVRIL-OCTOBRE 2010** : Estacade rive gauche

**NOVEMBRE 2009-JUIN 2010** : Estacade rive droite

**JUIN 2010** : Remorquage et échouage des îlots et de l'embase rive droite

**JUIN-OCTOBRE 2010** : Batardeau puis pieux pile P4 (rive droite)

**JUIN-DÉCEMBRE 2010** : Réalisation des pieux puis du génie civil de la culée rive gauche

**JUILLET-NOVEMBRE 2010** : Préfabrication en forme de radoub des îlots et de l'embase rive gauche

**AOÛT-OCTOBRE 2010** : Pieux de l'embase rive droite

**SEPTEMBRE 2010-JANVIER 2011** : Remplissage des îlots de protection rive droite

**OCTOBRE-NOVEMBRE 2010** : Batardeau pile P1 (rive gauche)

**NOVEMBRE-DÉCEMBRE 2010** : Bétons immergés de l'embase rive droite

**JANVIER 2011** : Remorquage et échouage des îlots et de l'embase rive gauche

**12- Réalisation des pieux du caisson principal à travers des opercules.**

**13- Curage des pieux avec la benne preneuse (ici, pieux de la pile P1).**

**12- Execution of piles for the main caisson via gates.**

**13- Cleaning piles with the clamshell grab (here, piles of pier P1).**

lèle de la réalisation des estacades, tout en laissant un libre passage au trafic portuaire. Les fondations des culées et piles intermédiaires ont été réalisées de façon traditionnelle, sur pieux pour les culées, et à l'intérieur de batardeaux (voir plus loin) pour les piles intermédiaires.

### DRAGAGE ET LIT DE POSE

Compte tenu de ce qui précède, il était essentiel de préparer l'assise en vue de poser dans les meilleures conditions les fondations préfabriquées. Les importants courants, les effets du marnage, l'envasement selon les saisons devaient être pris en compte. Une maquette hydraulique a donc été étudiée avec Sogreah en vue de déterminer les conditions d'affouillement au droit de chaque fondation, notamment en phase provisoire. Avec cette maquette est apparue la nécessité de protéger les sables mis à nu après le dragage des argiles vasardes sus-jacentes. Un dragage représentant environ 60 000 m<sup>3</sup> au droit de chaque implantation des pylônes (120 x 40 x 6 m) a donc été réalisé en avril 2010 par une drague aspiratrice (sous-traitant, SDI).



14

À l'issue de cette opération, ont été mis en œuvre : un lit de pose (granulats 30/65) sous les futures fondations, puis un lit de protection (granulats 40/200) au pourtour, le tout à l'aide d'une pelle bâti-long sur ponton équipée d'un GPS (sous-traitant, SDI) permettant d'assurer un nivellement au centimètre en vue de la pose, dans les conditions prévues, des pièces préfabriquées.

Des tapis de gabions préfabriqués seront posés ultérieurement autour des pièces préfabriquées, en vue de les protéger définitivement contre les affouillements.

#### **FONDATIONS DES PYLÔNES ET DES ÎLOTS DE PROTECTION**

Les pylônes de la travée levante sont fondés, en rive droite comme en rive

gauche, sur 20 pieux de 1,60 m de diamètre s'appuyant sur les marnes existantes à -25 NGF.

La conception des embases est liée aux méthodes de réalisation puis d'échouage des pièces préfabriquées. Les caissons creux doivent être parfaitement symétriques afin d'assurer leur flottaison sans gîte. Ainsi, une surépaisseur des voiles extérieurs côté

passage navigable, nécessaire à la reprise d'éventuels chocs latéraux de bateaux, a dû être différée pour être mise en œuvre après échouage.

Le caisson est également raidi par des voiles contreforts reprenant les poussées hydrostatiques subies lors du transport par flottaison.

L'implantation de ces voiles a été définie en fonction de celles des futurs pylônes



15

**14- Battage des palplanches des appuis P1 et P4.  
15- Vue générale de l'estacade après échouage des caissons côté rive droite.**

**14- Driving the sheet piling for supports P1 and P4.  
15- General view of the jetty after grounding of the caissons on the right bank side.**

PHOTOS 14 & 15 © RICHARD NOURRY

et également des pieux de fondation. Ce réseau de raidisseurs constitue, en fond d'embase, un maillage de cellules permettant de régler le ballastage de l'embase.

Enfin, divers équipements nécessaires aux opérations de remorquage et échouage ont été mis en place préalablement à ces opérations : dispositifs de halage, pinces d'ajustement sur les pieux guides, dispositifs de pompage en vue des opérations de ballastage/déballastage, passe-voiles munies de vannes obturables...

Après réalisation en forme de radoub de chacune des embases des pylônes (44 m de long, 18 m de large, 16 m de haut, soit 6 000 t ; photo 6), ces dernières sont amenées sur site à l'aide de remorqueurs de haute mer (photos 7, 8 et figure 9), avec les importantes contraintes liées à la marée et aux courants (figure 10), puis échouées par débballastage au centimètre près grâce à des tubes guides et à des systèmes d'arrimage appropriés (photo 11). Il s'agit d'une opération exceptionnelle, nécessitant la venue de deux remorqueurs de 80 t et d'un remorqueur de 30 t pour tenir compte du tirant d'eau, des marées, du courant, et de la régulation des manœuvres lors des opérations de ballastage/déballastage. La première (rive droite) a lieu en juin 2010 ; la seconde (rive gauche) est prévue en janvier 2011.

Après contrôle de la position des embases ainsi échouées, les 20 opercules prévus au droit des futurs pieux (figure 12) sont ouverts par des plongeurs afin de permettre la mise en place par vibrofonçage des chemises métalliques traversant les couches de sables jusqu'aux marnes (- 25 m). Les excavations sont alors complétées par curage/trépanage dans les marnes sur une profondeur de 5 m (photo 13). Les pieux sont ensuite ferrailés et bétonnés. Le fond de l'embase qui, pendant cette opération durant plu-

sieurs mois, s'est envasé, est alors nettoyé par des plongeurs, puis rempli par casiers de béton immergé. Puis l'embase est vidée, et les travaux des superstructures peuvent démarrer.

#### MISE EN PLACE DES ÎLOTS DE PROTECTION

Les îlots de protection (18 m de diamètre, 15 m de haut, 2 000 t, photos 6 et 11) sont, de la même façon que les embases, mis en place par remorquage et échouage en amont et en aval, à 8 m de celles-ci. Leur conception doit répondre aux mêmes exigences de qualité que celles des embases. Ils sont destinés à reprendre les chocs éventuels de bateaux, évalués, compte tenu des plus gros paquebots (250 m de long), à 9 000 t. Ils ne sont pas fondés sur des pieux, comme les embases, mais posés sur le lit de pose, puis ancrés dans le sol à l'aide de 22 tirants 7T15

« LES PYLÔNES DE LA TRAVÉE LEVANTE SONT FONDÉS, EN RIVE DROITE COMME EN RIVE GAUCHE, SUR 20 PIEUX DE 1,60 M DE DIAMÈTRE S'APPUYANT SUR LES MARNES À -25 NGF »

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Communauté urbaine de Bordeaux (CUB)

**CONSTRUCTION :** GTM (mandataire du groupement), Vinci construction grands projets, Cimolai

**CONCEPTION/MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Egis JMI, M. Virlogeux, AOA Lavigne-Cheron (architecte), Hardesty & Hanover (mécanismes)

#### PRINCIPALES QUANTITÉS

##### FONDACTIONS

**PIEUX EMBASES P2 ET P3 ET CULÉES :** 875 t (83 pieux de 10 à 26 m)

**BÉTON EMBASE ET ÎLOTS :** 8 300 m<sup>3</sup> à 190 kg/m<sup>3</sup>

**BÉTON DE REMPLISSAGE :** Dans les 4 îlots, 5 000 m<sup>3</sup> ; dans les 2 embases (béton immergé), 2 300 m<sup>3</sup>

##### ESTACADES

**LINÉAIRE DE PIEUX :** 4 582 m

**TONNAGE DE CHARPENTE :** 2 700 t

**HOUDIS BÉTON PRÉFABRIQUÉ :** 1 600 m<sup>3</sup> ; ratio, 350 kg/m<sup>3</sup>

permettant d'absorber le choc avec un minimum de dommages, pour la structure et pour le bateau. Une fois posés, leur sous-face est remplie à l'aide de béton immergé en vue d'assurer un bon contact sur le lit de pose, puis ils sont comblés en tout venant dans une première phase, et enfin par un béton de rigidité dans la zone de l'éventuel choc de bateau.

#### FONDACTIONS DES PILES INTERMÉDIAIRES ET CULÉES

Les piles intermédiaires (P4 en rive droite et P1 en rive gauche) étaient prévues pour être fondées sur pieux (six pieux de 1 600 pour chacune, dans les mêmes conditions que les pylônes).

Les travaux ont été engagés sur cette base à l'été 2010.

Mais le terrain, contredisant les sondages, s'est révélé très hétérogène, de sorte que les fondations ont été adaptées :

→ En rive droite (P4) : radier « brosse » s'appuyant sur 24 profilés métalliques (HEB 700) d'une trentaine de mètres descendant dans les marnes jusqu'au niveau - 35 m ;

→ En rive gauche (P1) : fondation superficielle s'appuyant directement sur les marnes.

Ces deux fondations sont réalisées à l'intérieur de batardeaux prolongés d'avant-becs (photo 14) permettant d'éviter les affouillements (nécessité résultant du modèle hydraulique).

Après qu'ont été envisagés des micro-pieux, les culées ont finalement été fondées sur des pieux de 800 mm de diamètre réalisés en terre ferme sur la rive (sous-traitant, Botte fondations). La culée rive gauche était initialement prévue pour s'appuyer sur l'existant, mais la création, en cours de mise au point du projet, d'un passage souterrain élargi par la suite pour des raisons architecturales, a imposé un appui sur pieux indépendant de l'existant (30 pieux de 800 mm à 20 m de profondeur). □

#### ABSTRACT

### FOUNDATIONS OF THE BACALAN-BASTIDE LIFT BRIDGE IN BORDEAUX

GILLES VANBREMEERSCH, VINCI - SÉVERINE FLAJOULOT, VINCI - MATHIEU CARDIN, EGIS JMI

*The Bacalan-Bastide bridge, in Bordeaux, which will be delivered between the end of 2012 and early 2013, is remarkable for its lift bridge characteristics, but also because of its foundations in the Garonne, which entail very substantial work performed in difficult conditions. This article describes execution of the foundations and maritime works for this exceptional structure. □*

### LOS CIMIENTOS DEL PUENTE LEVADIZO BACALAN-BASTIDE, BURDEOS

GILLES VANBREMEERSCH, VINCI - SÉVERINE FLAJOULOT, VINCI - MATHIEU CARDIN, EGIS JMI

*El puente Bacalan-Bastide, Burdeos, que se entregará entre finales de 2012 y comienzos de 2013, destaca por sus características de puente levadizo y por sus cimientos en el Garona, que requieren grandes obras realizadas en condiciones muy difíciles. Este artículo describe la realización de los cimientos y los trabajos marítimos de esta estructura excepcional. □*



1- Mise en fiche  
d'un duc-d'Albe  
d'amarrage.

1- Setting  
of a mooring  
dolphin.

© BALINEAU

# MODERNISATION DU POSTE PÉTROLIER 511 À AMBÈS PORT DE BORDEAUX

AUTEUR : JACQUES GARRISSOU, DIRECTEUR DE TRAVAUX, BALINEAU SA

AFIN D'AUGMENTER LA CAPACITÉ D'ACCUEIL DU POSTE PÉTROLIER P511 À AMBÈS, LE GRAND PORT MARITIME DE BORDEAUX A LANCÉ UN APPEL D'OFFRES POUR MODERNISER L'APPONTEMENT. C'EST AU TRAVERS D'UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES QUE BALINEAU A ÉTÉ RETENU COMME MANDATAIRE POUR RÉALISER LES TRAVAUX D'UN MONTANT DE 7,62 M€. CE NOUVEL AMÉNAGEMENT PERMETTRA DE RECEVOIR DES NAVIRES DE 50 000 TONNES ALORS QUE L'INSTALLATION ACTUELLE EST LIMITÉE À DES UNITÉS DE 25 000 TONNES. TOUT EN AUGMENTANT LES CAPACITÉS DE L'APPONTEMENT, C'EST ÉGALEMENT LA SÉCURITÉ QUI EST GRANDEMENT AMÉLIORÉE.



2



3

**2- Mise en fiche des pieux du rideau mixte.**  
**3- Détail du guide du rideau mixte.**

**2- Pile setting for the composite screen pile leader.**  
**3- Detail of the composite screen pile leader.**

500 m en amont du poste 512, qui avait fait l'objet, en 1999, de travaux de modernisation identiques à ceux réalisés actuellement pour le poste 511. C'est d'ailleurs l'entreprise Balineau qui avait exécuté les travaux à l'époque.

#### LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Les différentes couches rencontrées à partir du fond de la Garonne se décomposent comme suit :

- Les alluvions fines de la Garonne (sable vasard) sur 3 m environ ;
- Les alluvions grossières (sable graveleux) sur 6 m environ ;
- Le substratum oligocène (marnes verdâtres à marno-calcaires) avec des niveaux marneux et des niveaux argileux moins indurés.

La résistance du substratum est variable selon que l'on se trouve dans un niveau marneux ou non. Cette variabilité se retrouve dans les courbes de battage des ducs-d'Albe entre l'amont et l'aval.

#### RIDEAU MIXTE SOUS FLUVIAL

Le rideau sous fluvial devant assurer la stabilité des talus et de l'ancien ouvrage a été implanté 2 m devant l'existant. Ce rideau, après dragage, permettra d'obtenir une souille à la cote marine - 12,00 (- 9,00 CM actuellement). Le rideau est constitué d'une partie frontale de 71 m et de deux retours perpendiculaires de 37 m. ▶

#### ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DU TRAFIC

Avec la volonté de conforter le développement de l'activité pétrolière, le Grand Port maritime de Bordeaux a lancé des travaux de modernisation du poste 511 à Ambès. Cet investissement, qui s'inscrit dans le contrat de projet entre l'État et la région, représente une opération majeure. Les hydrocarbures constituent la moitié du trafic du port de Bordeaux.

En 2009, les importations d'hydrocarbures représentaient 4,2 millions de tonnes et les exportations 400 000 t. Les capacités actuelles du poste permettent d'accueillir des navires de 25 000 t, 185 m de longueur et 9,5 m de tirant d'eau. Le nouvel aménagement permettra l'accès des unités de 50 000 t, 210 m de longueur et 11 m de tirant d'eau. Au terme d'un appel d'offres lancé

en été 2009, c'est le groupement Balineau/EMCC qui a été retenu pour réaliser ces travaux d'un montant de 7,62 millions d'euros.

Le délai global de réalisation est de 13 mois, dont 5 mois de préparation auxquels doit s'ajouter une extension de délai de 1,5 mois qui conduira à une fin de travaux en mars 2011. L'ouvrage est situé sur la presqu'île d'Ambès, côté Garonne, à environ

Chaque travée du rideau mixte est composée de trois palplanches VL606A intercalées entre deux tubes de diamètre 1 016. Chaque tube est équipé, sur les deux génératrices diamétralement opposées, de raccords C6 soudés en continu. Ils sont fondés à la cote - 26,00 CM et la tête des tubes et des palplanches est arasée à - 7,00 CM.

#### LES DUCS-D'ALBE D'AMARRAGE

Le poste comprend six ducs-d'Albe d'amarrage, de capacité nominale 150 t de force unitaire. Chacun est réalisé à partir d'un tube de 2 m de diamètre, d'épaisseur et de nuance variables, fiché verticalement dans le sol jusqu'à la cote - 25,00 CM. La tête de duc-d'Albe est munie d'équipements fabriqués en atelier et soudée en place après battage du tube. L'aménagement d'une plate-forme métallique, ceinturée par un garde-corps, permet la circulation d'un homme à la cote + 6,95 CM. Un croc d'amarrage double de 2 x 75 t et un cabestan électrique antidéflagrant sont ancrés sur la plate-forme en tête de duc-d'Albe.

#### LES DUCS-D'ALBE D'ACCOSTAGE

Le front d'accostage est équipé de deux ducs-d'Albe principaux et de deux ducs-d'Albe secondaires. Chaque duc-d'Albe principal est réalisé à partir d'un tube de 2 000 mm de diamètre, d'épaisseur et de nuance variables. Ils sont fichés verticalement dans le sol jusqu'à la cote - 27,00 CM. L'espacement entre les deux ducs-d'Albe est de 68 m. La tête de duc-d'Albe, entièrement préparée en atelier, est constituée d'une virole de 2 120 mm de diamètre qui coiffe le tube de diamètre 2 000 pour être scellée par un mortier injecté dans l'espace annulaire restant entre les deux tubes. La tête est équipée de supports métalliques qui reçoivent les défenses Tandium 1 250 h x 1 500 l supportant un bouclier de 6,20 x 2 m entièrement recouvert de plaques PEHD 500. Cette tête est également équipée d'une charpente métallique faisant office de plate-forme de circulation sur laquelle est soudée l'extrémité de la passerelle d'accès au duc-d'Albe. Chaque duc-d'Albe secondaire est réalisé à partir d'un tube de 1 422 mm



**4- Faux pieux du rideau mixte.**  
**5- Forage au trépan émulseur.**

**4- Pile follower for the composite screen.**  
**5- Drilling with emulsion drilling bit.**

de diamètre, d'épaisseur et de nuance variables. Ils sont fichés verticalement dans le sol à la cote - 25,00 CM. La tête est constituée d'une virole de diamètre 1 540 mm, équipée de supports pour recevoir des défenses Tandium 800 h x 1 000 l supportant un bouclier métallique de 6 x 1 m recouvert de plaques PEHD 500. La partie supérieure est équipée d'une plate-forme de circu-







6

lation à la cote + 7,20 CM. Cette virole de diamètre 1 540 mm vient coiffer le tube de diamètre 1 422 mm pour être scellée de la même manière que les diamètres 2 000 mm.

#### PLATE-FORME EN BÉTON ARMÉ

La plate-forme est une extension de l'ouvrage existant qui permettra de recevoir les nouveaux bras de déchargement des hydrocarbures. Elle est de forme rectangulaire 38 x 8 m.

**6- Battage au S90.**

**7- Passerelle de lamanage.**

**8- Bétonnage de la plate-forme béton.**

**6- Pile driving with the S90.**

**7- Mooring gangway.**

**8- Concreting the concrete platform.**



7

Elle est fondée sur 12 pieux métalliques de diamètre 812, épaisseur 12,5 mm, battus au refus à la cote - 24 CM.

Ces pieux supportent six chevêtres préfabriqués en béton armé sur lesquels reposent des poutres, elles-mêmes supportant des pré-dalles pour terminer par une dalle coulée en place de 30 cm d'épaisseur. Trois fosses sont prévues sur la plate-forme ; elles serviront de bacs de rétention pour la récupération des hydrocarbures.

#### PASSERELLES DE LAMANAGE

Les passerelles d'accès aux ducs-d'Albe d'amarrage sont au nombre de huit (quatre en amont et quatre en aval). Le premier appui se fait au niveau de la plate-forme béton, puis sur des palées supports constituées de pieux de diamètre 1 016, épaisseur 12,5 mm, fichés au refus à la cote - 21,00 CM. Les passerelles sont soudées sur chaque pieu de palée par l'intermédiaire d'une tôle de liaison. ▷



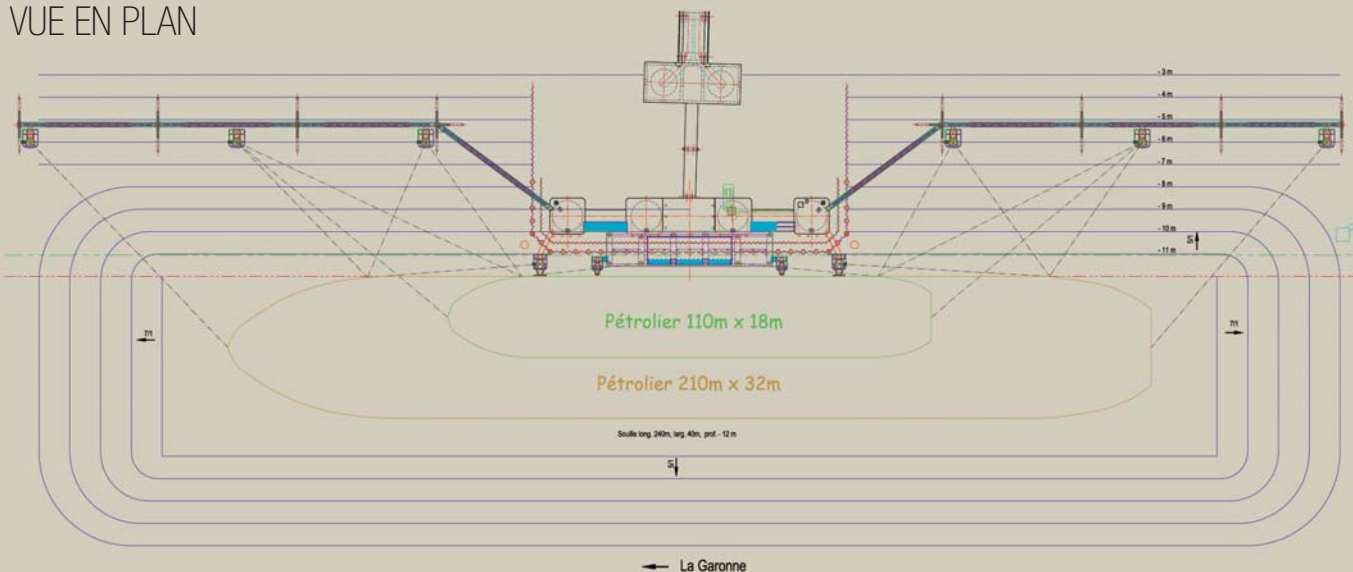
8

#### MOYENS MIS EN ŒUVRE

##### LES MOYENS NAUTIQUES MIS EN ŒUVRE SONT CONSTITUÉS PAR :

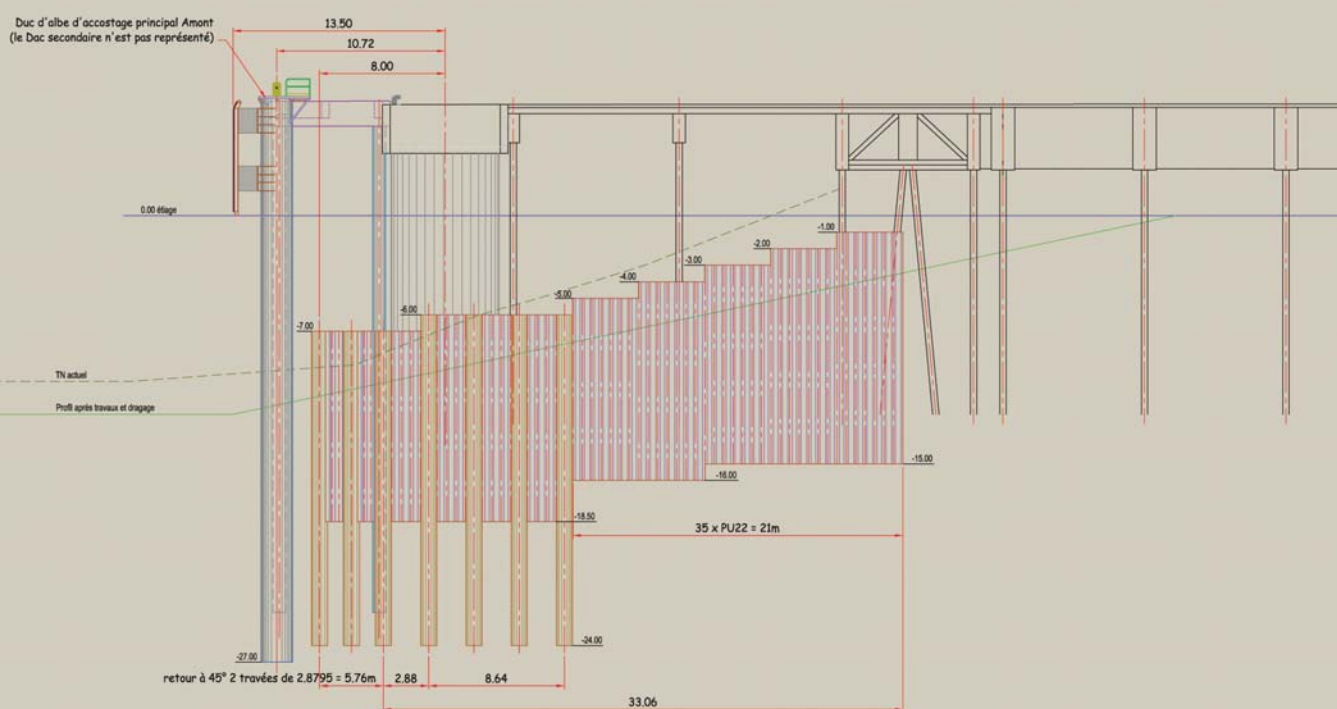
- Un ponton-grue Tramex (30 x 18 m) équipé d'une grue de 180 t Sumitomo SC 1500. Cet équipement est chargé principalement de toutes les opérations de levage lourd, ainsi que de la mise en fiche et battage des palplanches, pieux et ducs-d'Albe. Les moyens de battage utilisés sont des vibrofonçeurs type PTC 25H et ICE 6680, ainsi qu'un mouton hydraulique IHC S90 ;
- Un ponton de 24 x 12 m, équipé d'une grue de 80 t, destiné à assurer la réalisation de la plate-forme béton et toutes les manutentions secondaires comme la mise en place des passerelles ;
- L'approvisionnement de tous les matériaux et matériels entre notre dépôt de Bordeaux et le chantier se fait au moyen de deux pontons de servitude déplacés par le pousseur Patrice de 500 CV.

## VUE EN PLAN



9

## COUPE TYPE



10

FIGURES 9 & 10 © DR

Au droit de chaque duc-d'Albe d'amarrage, les passerelles sont aménagées de manière à permettre l'accès au duc-d'Albe sans en être solidaire.

### FLUCTUATIONS DE MARÉE

La technique des travaux à réaliser est parfaitement connue et maîtrisée par l'entreprise Balineau, d'autant que les travaux réalisés par elle-même une dizaine d'années plus tôt sur le poste voisin P512 étaient en tout point identiques. L'environnement particulier, lié au

courant très important sur la Garonne, auquel viennent s'ajouter des fluctuations de marée pouvant dépasser 6 m, obligent à une surveillance accrue du matériel flottant. Il est indispensable de faire preuve d'une grande vigilance lors des mouvements de barges, ainsi que d'une rigueur absolue dans les amarages. Ces conditions demandent une organisation et une planification spécifiques, d'autant qu'une grande partie des travaux se trouvent dans une zone où le ponton risque de s'échouer.

9- Vue en plan.  
10- Coupe type.

9- Plan view.  
10- Typical cross section.

### PHASAGE ET RÉALISATION DES TRAVAUX

La totalité des travaux ne peut se faire que par voie fluviale, puisque la passerelle d'accès de l'ouvrage depuis la terre est limitée à des charges de 4 t et de faible largeur.

La première opération, avant le démarrage des travaux proprement dit, consiste en la dépose d'une partie de la structure existante, le recépage de deux ducs-d'Albe et l'arrachage de quelques pieux.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### RIDEAU MIXTE DE 150 ML

- 200 t de palplanches VL606A, longueur 11 à 13 m
- 35 tubes diamètre 1 080 mm, épaisseur 20 mm, longueur 20 m, équipés de raccords C6 soudés sur 17 m

### 6 DUCS-D'ALBE D'AMARRAGE

- 6 tubes diamètre 2 000 mm à inertie variable, épaisseur 20 à 30 mm, longueur 32 m, masse unitaire 43,5 t
- 6 têtes de duc-d'Albe équipées chacune de crocs doubles 2 x 75 t et d'un cabestan 1,5 t pour 5,5 kW

### 4 DUCS-D'ALBE D'ACCOSTAGE

- 2 tubes diamètre 2 000 mm, longueur 32,63 m, à inertie variable, épaisseur 20 à 37 mm, masse unitaire 52 t
- 2 têtes diamètre 2 120 mm, longueur 6,20 m, équipées de défenses Tandium 1 250 h x 1 500 l supportant un bouclier métallique de 6,20 x 2 m, masse unitaire des têtes 31,5 t
- 2 tubes diamètre 1 400 mm, longueur 37,33 m, à inertie variable, épaisseur 20 à 32 mm, masse unitaire 35 t
- 2 têtes diamètre 1 540 mm, longueur 6,20 m, équipées de défenses Tandium 800 h x 1 000 l supportant un bouclier métallique de 6 x 1 m, masse unitaire des têtes 12,5 t

### PLATE-FORME BÉTON 37,80 X 7,75 M

- 12 pieux diamètre 812, épaisseur 12,5 mm, longueur 29 m
- Éléments préfabriqués en béton armé 140 m<sup>3</sup>
- Béton coulé en place 70 m<sup>3</sup>
- Aciers pour béton armé 38 t
- 2 bollards de 100 t et 2 cabestans

### PASSERELLES DE LAMANAGE

- 10 pieux diamètre 1 016, épaisseur 12,5 mm, longueur 28 m
- 8 passerelles galvanisées, longueur 32 m, poids unitaire 10,50 t

### RÉALISATION DE GARDE-CORPS

- 200 ml

C'est par la réalisation du rideau mixte qu'ont commencé les travaux.

La particularité du rideau mixte sous fluvial est que l'arase se trouve à 7 m sous le niveau de marée basse et à 13,50 m à marée haute.

Au moment de l'élaboration des méthodes, deux possibilités se présentent :  
→ Soit on prévoit des pieux et palplanches plus longs pour conserver la tête toujours apparente pendant la mise en œuvre. Cette solution nécessite un recépage sous-marin et des chutes importantes à négocier financièrement ;

→ Soit on prévoit les pieux et palplanches à la longueur du projet, en utilisant des systèmes de faux pieux pour battre les profilés à la cote finale.

C'est la deuxième solution que nous avons retenue. Pour cela, nous avons conçu un guide à deux niveaux permettant d'assurer une verticalité et un maintien en ligne parfaits des tubes ; les palplanches sont enclenchées ensuite entre les pieux. L'ensemble des profils a été battu au marteau hydraulique IHC S90.

L'étape suivante est la réalisation des pieux de la plate-forme, afin de permettre au ponton grue de 80 t de démarrer la phase génie civil le plus vite possible. La mise en œuvre de ces pieux s'est faite au moyen d'un guide hydraulique à deux niveaux positionné sur un ponton annexe. Étant réglable pour des diamètres de 0,50 à 2 m, c'est ce guide qui servira pour l'ensemble des pieux et ducs-d'Albe. Les travaux de battage se poursuivent, sur le même principe, par les pieux supports de passerelles et, parallèlement, les ducs-d'Albe d'amarrage. Viendront ensuite la réalisation des ducs-d'Albe d'accostage et le scellement des têtes. Lorsque le tube ne descend plus au vibrofonneur, le battage se fait à l'aide d'un marteau hydraulique IHC S90. Si l'on rencontre un refus prématuré, le tube est curé à l'aide d'un trépan émulseur. Le curage diminue les frottements latéraux pour permettre de descendre plus facilement. La dernière phase à réaliser sera l'enlèvement de deux anciens corps morts de 57 t enfouis sous plusieurs mètres de vase. □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Grand Port maritime de Bordeaux

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Groupement Seamar-Ciport

**COORDONNATEUR SÉCURITÉ ET PROTECTION DE LA SANTÉ :** GM qualité

**ENTREPRISE :** Groupement Balineau SA (mandataire)-EMCC

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :** CESM (construction métallique, défenses, crocs et cabestans), GTM (génie civil)

## ABSTRACT

### MODERNISATION OF OIL TERMINAL 511 AT AMBÈS, BORDEAUX PORT

JACQUES GARRISSOU, BALINEAU SA

In order to increase the receiving capacity of oil terminal P511 at Ambès, in the summer of 2009 Grand Port Maritime de Bordeaux launched an invitation to tender for modernising the wharf. It was the Balineau-EMCC consortium that was chosen, for a contract price of 7.62 million euros. This new development will make it possible to receive 50,000-tonne ships, whereas the current installation is limited to 25,000-tonne units. The aim of the works is to deepen the bed of the berthing area to the level -12.00 CM; to do so, the existing structure is surrounded by an under-river composite screen serving as a retaining structure. Berthing is provided by four dolphins (two of diameter 2000 mm and two of diameter 1400 mm). The mooring system is improved by six dolphins of diameter 2000 mm (three upstream and three downstream). Access to these dolphins, each equipped with a double hook of 2 x 75 tonnes and a capstan, will be provided by means of a gangway located along the mooring line. The concrete platform is extended to receive the two new hydrocarbon unloading derricks. This arrangement not only increases capacity but also greatly improves safety. □

### MODERNIZACIÓN DEL PUESTO PETROLERO 511 EN AMBÈS PUERTO DE BURDEOS

JACQUES GARRISSOU, BALINEAU SA

Para aumentar la capacidad de acogida del puesto petrolero P511 en Ambès, el Gran Puerto marítimo de Burdeos lanzó, en el verano de 2009, una licitación para modernizar el muelle. Se seleccionó a la agrupación de empresas Balineau-EMCC, por un importe de 7,62 millones de euros. Este nuevo acondicionamiento permitirá recibir buques de 50.000 t, mientras que la instalación actual está limitada a unidades de 25.000 t. Las obras tienen como objetivo profundizar el dique seco de la zona de atraque en la cota -12,00 CM y, para ello, se ha delimitado la estructura existente con una cortina mixta subfluvial que sirve de contención. El atraque se realiza en cuatro amarraderos (dos de diámetro 2.000 y dos de diámetro 1.400). El dispositivo de amarre se ha mejorado con seis amarraderos de diámetro 2.000 (tres aguas arriba y tres aguas abajo). Se accederá a estos amarraderos, equipados con un gancho doble 2 x 75 t y un cabrestante, a través de una pasarela dispuesta a lo largo de la línea de amarre. Una ampliación de la plataforma de hormigón permite recibir los dos nuevos mástiles de descarga de hidrocarburos. Este acondicionamiento, al aumentar sus capacidades, mejora en gran medida la seguridad. □

# CONSTRUCTION DU MÉMORIAL À L'ABOLITION DE L'ESCLAVAGE À NANTES

AUTEURS : FRANÇOIS BAILLY, DIRECTEUR DU DÉVELOPPEMENT, ARCADIS,  
ET DIRECTEUR DU PROJET - GILDAS LE GALL, CHEF DE PROJET, ARCADIS -  
BRUNO VASSEUR, RESPONSABLE TRAVAUX, ARCADIS

**DÉCIDÉ IL Y A UNE DIZAINE D'ANNÉES, LE MÉMORIAL À L'ABOLITION DE L'ESCLAVAGE À NANTES, DESTINÉ À RAPPELER L'IMPORTANCE DU COMMERCE TRIANGULAIRE EN FRANCE ET À CÉLÉBRER L'ABOLITION DE L'ESCLAVAGE, PRENDRA FINALEMENT LA FORME D'UN PARCOURS COMMÉMORATIF ET MÉDITATIF ASSORTI D'UN ESPACE D'INFORMATION, SOUS LA HOULETTE DE L'ARTISTE KRZYSZTOF WODICZKO. LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE, SUR LE QUAI DE LA FOSSE, ENTRE LE PONT ANNE-DE-BRETAGNE ET LA PASSERELLE SCHŒLCHER, PRÉSENTE DEUX CONTRAINTES MAJEURES : LA NÉCESSITÉ DE SUIVRE LE RYTHME DES MARÉES, AVEC LA SUBMERSION RÉGULIÈRE DE LA ZONE DE TRAVAUX, ET LA RÉALISATION EN SOUS-ŒUVRE, DANS UN ESPACE TRÈS EXIGU.**

## UNE IMPLANTATION SYMBOLIQUE

Dès 1998, le conseil municipal de Nantes adoptait le principe d'édifier un monument dédié à l'abolition de l'esclavage sur le quai de la Fosse. Après différentes phases, le projet de Krzysztof Wodiczko, artiste designer, est retenu. Il s'agit d'une proposition de parcours méditatif, et non d'un monument. L'implantation de ce mémorial, sur le quai de la Fosse, rappellera fortement le point d'accostage des navires du commerce triangulaire. Sa position, entre le pont Anne-de-Bretagne et la passerelle Schœlcher, avec le palais de justice en regard sur l'autre rive, participe pleinement à cette idée de parcours méditatif.

Nantes Métropole, maître d'ouvrage, assure la conduite du projet. L'élaboration du projet artistique est menée par Krzysztof Wodiczko et Julian Bonder, qui sont sous contrat ville et qui avaient à charge de définir la vision conceptuelle du mémorial. Le rôle de la maîtrise

d'œuvre, confiée à Arcadis en groupe-ment avec l'architecte Michel Rouleau, est d'une certaine manière atypique : il a pour objet de traduire, assister et accompagner les artistes dans la réalisation de leur œuvre. L'architecte et l'ingénierie ont fait le choix d'une répartition de tâches et de responsabilités conforme à cet objectif. En particulier, Arcadis est mandataire de cette réalisation, plaçant ainsi l'architecte dans son rôle essentiel de porter l'œuvre de l'artiste dans sa phase de réalisation sans la trahir.

## DEUX PARCOURS ET UN ESPACE D'INFORMATION

Après une étude de faisabilité technico-économique du projet de base, l'équipe artistique a établi un projet simplifié mais fidèle au concept d'origine. Il se compose de trois éléments :

→ Un parcours commémoratif rappelant aux visiteurs l'importance de la traite négrière en France ;

→ Un parcours méditatif appelant à la réflexion sur l'abolition de l'esclavage et sur les nouvelles formes d'esclavage contemporain ;

→ Un espace, positionné à l'extrémité Ouest du parcours méditatif, qui vient compléter le mémorial en apportant des informations aux visiteurs.

Le parcours commémoratif est composé d'une vaste esplanade piétonne allant du trottoir actuel du quai de la Fosse jusqu'à la berge, et de la passerelle Schœlcher au pont Anne-de-Bretagne (surface totale, 6 800 m<sup>2</sup>).

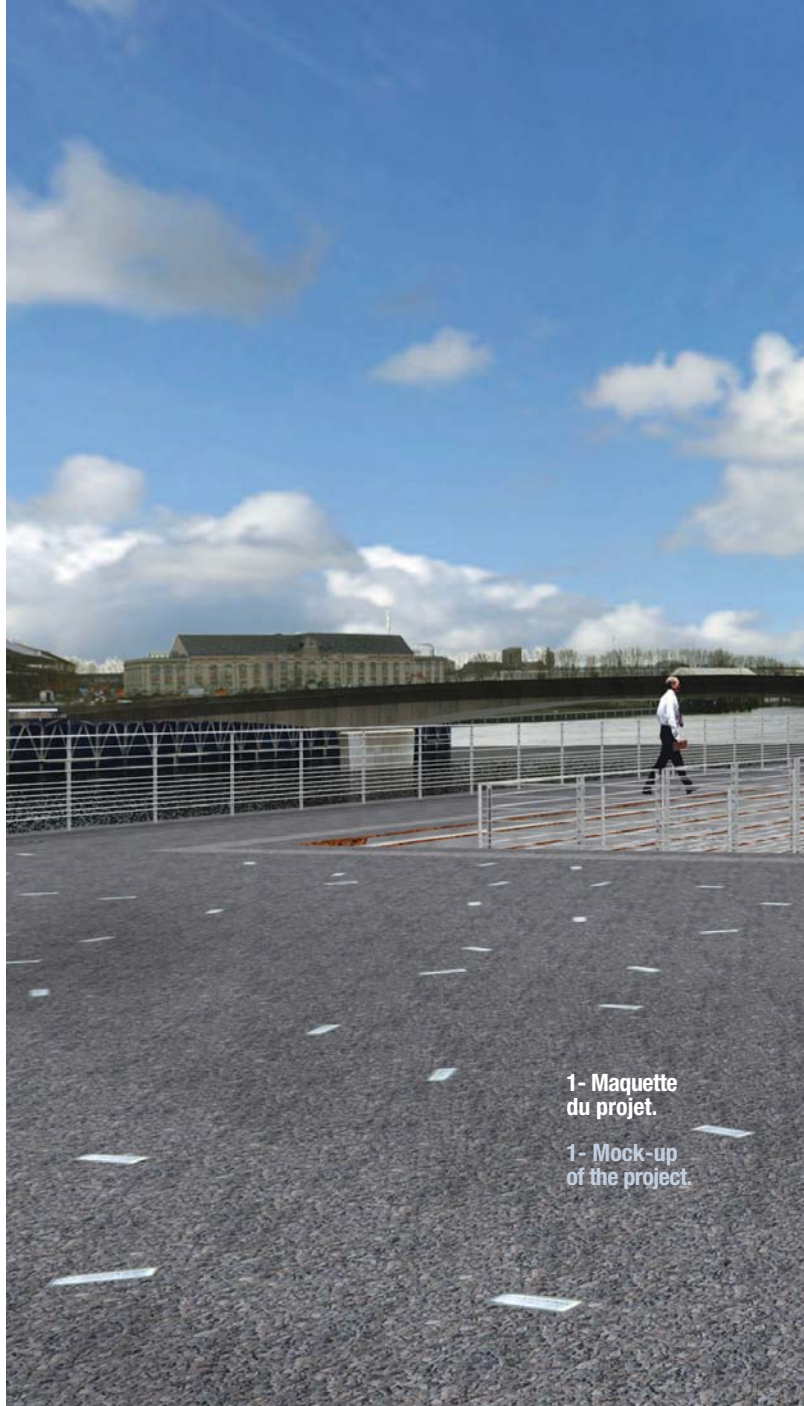
Sur cet espace seront disposées aléatoirement 2 000 plaques de verre commémoratives des expéditions négrières françaises.

Chaque pavé de verre, de dimensions 22,5 x 7,5 cm, contiendra un texte relatif au nom d'un bateau et à la date d'expédition.

Ces plaques seront insérées dans un revêtement de surface de type béton désactivé de couleur sombre.

Le concept du parcours méditatif utilise la structure actuelle du quai pour donner à vivre les sensations que pouvaient ressentir les esclaves au fond des cales. Le parcours se compose de trois entités : une entrée Ouest, un passage sous le quai sous forme de passerelle, et une entrée Est. Afin de préserver la passerelle des inondations, un cuvelage sera mis en œuvre sous le quai. Il permettra d'assurer la protection du passage jusqu'à la cote + 5.00 IGN 69. Le passage est longé, côté terre, de plaques de verre sur lesquelles sont gravées des textes abolitionnistes. Il s'agit d'écrans inclinés à 45°, d'une surface totale d'environ 780 m<sup>2</sup> sur une longueur totale de 90 m.

Ces écrans présentent une hauteur inclinée d'environ 8,60 m. Ils sont constitués, en partie basse, de plaques de verre contenant les textes, et, en partie haute, de plaques de verre avec une hauteur libre émergeant du quai de 1,50 m.



1 - Maquette du projet.

1 - Mock-up of the project.



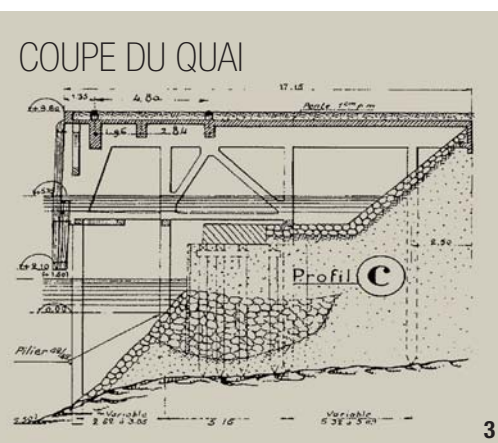
© AGENCE ROULLEAU

2- Le quai avant travaux.  
3- Coupe du quai.

2- The quay before the works.  
3- Cross section of the quay.



2



3

© DR

L'espace d'exposition est situé à l'Ouest du passage. Il intègre en sous-sol, sur une emprise de près de 120 m<sup>2</sup>, un escalier assurant l'accès au passage depuis le quai, un ascenseur et un espace d'information.

#### DEUX ANS DE CONCEPTION

En 2005, Nantes Métropole confie à Arcadis une étude de faisabilité dont l'objectif était d'évaluer les modalités techniques et économiques pour la réalisation du projet sur la base des

esquisses du concepteur. Le projet a alors été adapté pour tenir compte des conditions du site non prises en compte initialement (non-remblaiement de la Loire, protection de l'angélique des estuaires, cuvelage du passage sous quai pour améliorer les temps d'accessibilité...). La phase conception,

initialement prévue sur dix mois, s'est déroulée sur plus de deux ans, avec une phase APS très longue de mise au point du concept et des détails de l'œuvre entre le maître d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les artistes. Après un premier appel d'offres infructueux en 2008, les marchés ont été attribués en

2009. Les travaux ont été décomposés en huit lots : lot n° 1, travaux préparatoires, terrassements, génie civil, aménagements de surface ; lot n° 2, lames de verre ; lot n° 3, inserts ; lot n° 4, passerelle bois ; lot n° 5, éclairage ; lot n° 6, aménagements paysagers ; lot n° 7, ascenseur ; lot n° 8, serrurerie. ▷

## STRUCTURE ET RÔLE DU QUAÏ EN BÉTON

Le quai existant est long de 130 m. Il a été construit entre les années 1910 et 1914. Sa structure est formée par un système de poutres, bracons, poteaux en béton armé, constituant un ensemble de 35 palées sur lesquelles s'appuie une dalle en béton armé de 30 cm d'épaisseur (photo 2 et figure 3). Le quai comporte quatre profils types de structure notés a à d :

→ En aval du quai, profil a : l'estacade a une largeur de 7,80 m et prend appui à l'arrière sur le mur d'arrière-quai (construit antérieurement à l'estacade), qui repose sur le rocher par l'intermédiaire d'une maçonnerie ;

→ En amont et sur une dizaine de mètres en aval, profil b : l'estacade a une largeur de 17,15 m. Le mur d'arrière-quai, fondé sur le rocher par l'intermédiaire de pieux en bois, a été maintenu, masquant les terrains arrière, qui ont été enlevés, talutés et protégés par un perré maçonné. Le vannage parafeuilles des pieux en bois a été remplacé en 1936 par un rideau en béton, armé de rails fichés à la cote - 1,60 CM et protégé en 1982 par des enrochements mis en œuvre entre la cote + 3,50 et - 6,00 CM ;

→ En partie centrale, profils c et d : le mur de quai a été arasé jusqu'à la tête des fondations lors de la construction. L'estacade en béton armé, de largeur 17,15 m, est fondée sur des pieux béton. Les pieux en bois sont protégés par un vannage en bois totalement

ou partiellement détruit, recouvert de la cote + 3,50 à - 6,00 CM par des enrochements en 1982.

La lutte contre l'esclavage est symbolisée par la découpe du quai de la Fosse – point d'accostage des navires du commerce triangulaire – par une lame de verre longue de 90 m.

Le quai existant ainsi découpé symboliquement assure également un rôle structurel dans la construction du projet. Le passage souterrain traité comme un cuvelage est « ancré » aux poteaux et poutres principales du quai. Les charges induites par le cuvelage (effets du marpage de la Loire, poids de la passerelle bois et des lames de verre, circulations piétonnes) sont ainsi reportées directement sur le substratum rocheux par l'intermédiaire des fondations profondes du quai existant.

La construction de l'escalier Est et la traversée du quai par les lames de verre a nécessité le découpage de la dalle du quai existant sur une grande partie de l'ouvrage.

Les faux aplomb et défauts d'alignement des différentes palées constitutives du quai ont singulièrement complexifié la réalisation de cette tâche.

Ainsi, l'impératif de conserver les poutres principales intactes a imposé une méthode de repérage précis de la géométrie : relevé 3D au laser de la structure en sous face du quai (réalisé par Morel mapping workshop) ; multiplication des carottages de contrôle pour repérer la position des retombées de poutre (figure 4 et photo 5).



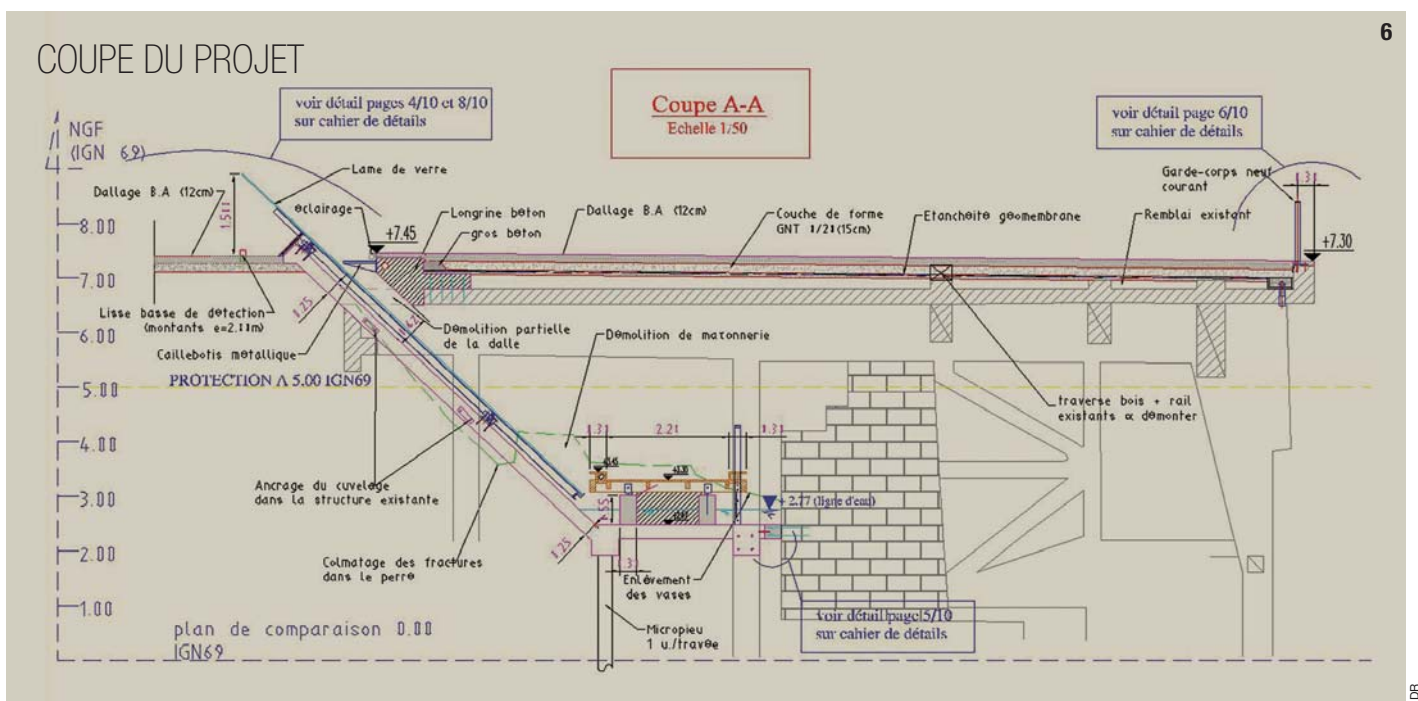
PHOTOS 4 & 5 © DR

## PRINCIPES DU CUVELAGE

Le cuvelage en béton armé doit assurer une protection du passage contre les crues de la Loire. Celui-ci doit servir de support aux lames de verre inclinées ainsi qu'à la passerelle bois. Le passage comprend, en fond de cuvelage, une lame d'eau permanente de 30 cm maximum. Compte tenu des charges qui sont apportées à ce cuvelage et de

- 4- Relevé 3D du quai.
- 5- Découpe du quai.
- 6- Coupe du projet.

- 4- 3D view of the quay.
- 5- Cutaway view of the quay.
- 6- Cross section of the project.



© DR



PHOTOS 7 À 10 © DR

**7- Ancrages du cuvelage aux poteaux de la structure existante.**

**8- Joint waterstop à l'interface de la maçonnerie existante et du radier du cuvelage.**

**9- Préfabrication partielle du perré et zones de clavage incluant les ancrages aux poteaux de la structure.**

**10- Dévasage sous quai.**

**7- Anchoring the casing to the columns of the existing structure.**

**8- Waterstop seal at the interface between the existing masonry and the casing invert.**

**9- Partial prefabrication of the breast wall and keying areas including anchoring to the structure columns.**

**10- Dredging under the quay.**

sa fonction de protection du passage contre les crues de la Loire, les principes de conception suivants ont été retenus :  
→ Protection du passage à + 5.00 IGN 69 ;

→ Le cuvelage en béton armé est indépendant des structures anciennes en maçonnerie ;

→ Les nouvelles charges induites par le cuvelage sont rapportées d'une part au quai existant en béton armé par l'intermédiaire des poteaux et des poutres principales, d'autre part directement au substratum par l'intermédiaire de micropieux ;

→ Au regard du DTU 14.1, l'ouvrage ainsi réalisé est un cuvelage à structure relativement étanche (figure 6).

L'ancrage dans les poteaux et les pou-

tres est effectué par le scellement d'armatures dans ceux-ci. La liaison avec le cuvelage s'effectue par un bétonnage en trois points sur la coupe type du cuvelage, l'un au niveau du radier et les deux autres au niveau du perré. À la jonction entre le radier et le perré, l'ancrage à la structure du quai existant n'étant pas possible, une file de micropieux ancrés au substratum est nécessaire. Les micropieux du cuvelage supportent à la fois les efforts de compression liés au poids propre de la structure et les efforts de traction liés aux sous-pressions exercées sur le cuvelage lorsque le niveau d'eau de la Loire est supérieur à celui du radier (photo 7).

Le principe de réalisation du cuvelage est également de le rendre indépendant

vis-à-vis des structures anciennes. Pour assurer l'étanchéité du cuvelage au contact de la maçonnerie, le principe retenu est celui d'un joint type waterstop, noyé pour partie dans le béton du cuvelage et pour l'autre partie dans une longrine béton armé ancrée dans la maçonnerie (photo 8).

### PRÉFABRICATION DU PERRÉ

Compte tenu des contraintes d'exécution, l'entreprise a fait le choix recourir à la préfabrication partielle pour la réalisation du perré en béton armé. Chaque travée du perré entre poteaux de l'existant est d'une largeur non uniforme d'environ 4 m. L'entreprise a fait préfabriquer en éléments standard de 1,80 m les zones centrales de chaque travée. La zone de clavage des éléments de dalle entre elles inclut ainsi les armatures d'ancrage du cuvelage aux poteaux existants (photo 9).

### TRAVAUX À MARÉE

Les deux principales contraintes de réalisation du cuvelage sont la réalisation des travaux suivant le rythme des marées, avec la submersion régulière de la zone de travaux, et la réalisation en sous-couvre, avec ses contraintes d'exiguité. Concernant les travaux à marée, pour la réalisation du cuvelage, les travaux ont démarré par l'enlèvement des vases situées sous le quai dans l'emprise du futur ouvrage. En effet, à chaque marée, la Loire, dont l'une des caractéristiques à cet endroit de l'estuaire est d'être particulièrement chargée en matières en suspension, dépose une pellicule de vase qui, cumulée sur des années, peut être importante (on parle de bouchon de vase). Pour enlever ces vases, et compte tenu des contraintes d'exécution des travaux sous quai de façon linéaire, l'entreprise a utilisé des engins de taille réduite. L'excavation des vases a été effectuée à l'aide d'une mini-pelle, et leur évacuation sous quai a été effectuée à l'aide de brouettes mécaniques, les matériaux étant remontés à la surface à l'aide de bennes (photo 10).

Après les travaux de dévasage proprement dits, les vases sont restées une composante quasi-permanente du chantier et une contrainte pour la réalisation des travaux.

En effet, compte tenu de la cote altimétrique à laquelle s'effectuent les travaux, la marée a continué de s'inviter à un rythme d'environ une semaine sur deux en inondant la zone de travaux tant que le cuvelage n'était pas entièrement terminé.

## HISTORIQUE DU PROJET

**1998** : Adoption du principe d'un monument dédié à l'abolition de l'esclavage par le conseil municipal.

**2000** : La ville de Nantes confie le projet à l'artiste Krzysztof Wodiczko.

**2003** : Krzysztof Wodiczko s'associe à Julian Bonder, architecte de Boston, pour affiner le projet.

**2005** : Arcadis réalise une étude de faisabilité technico-économique.

**2005-2006** : Appel d'offres de maîtrise d'œuvre par Nantes Métropole.

**2006** : Le marché est confié à Arcadis, en groupement avec l'architecte Michel Rouleau.

**2009** : Appel d'offre entreprises.

**FIN 2009** : Attribution et démarrage des travaux.



11



12



13

PHOTOS 11, A13 © DR

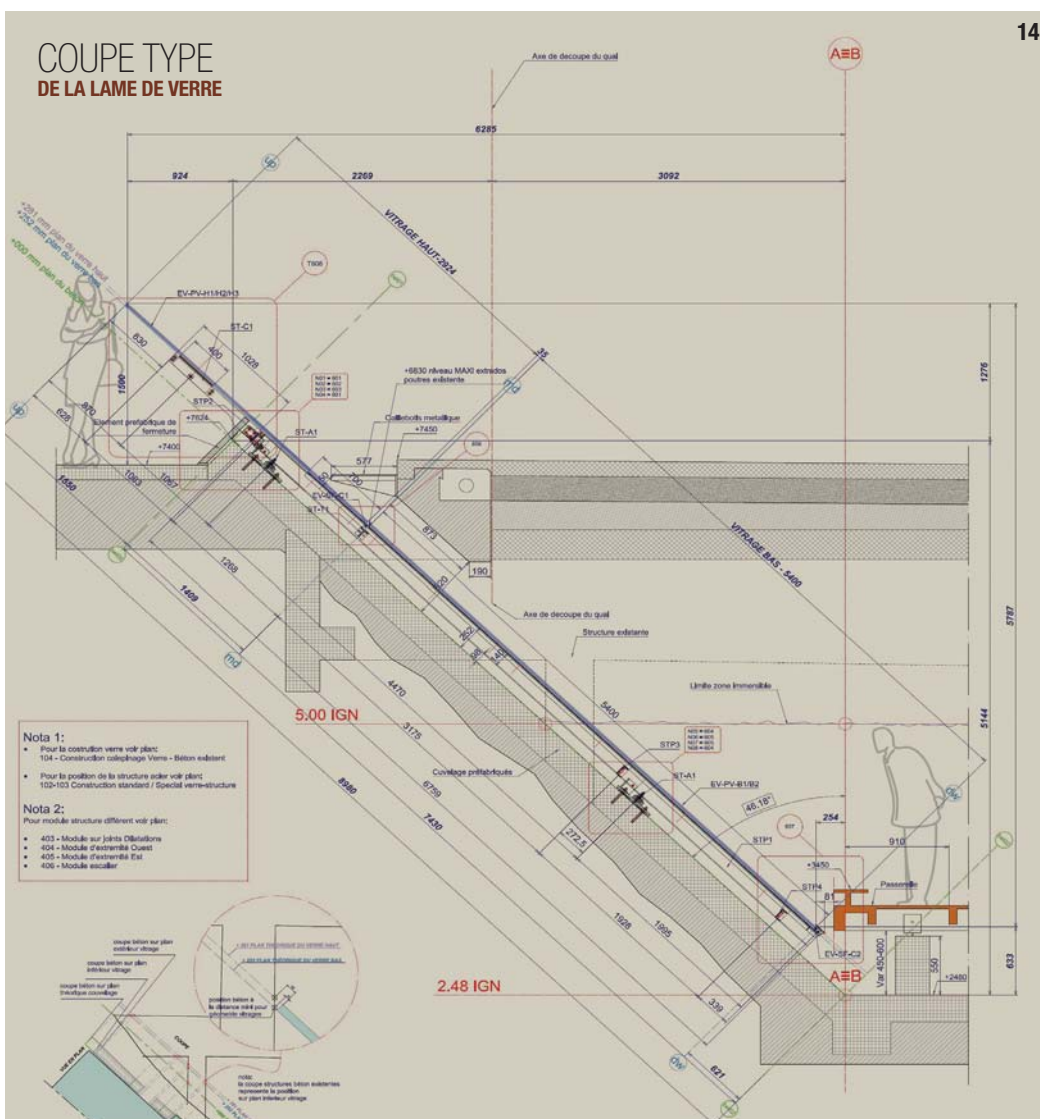
À chaque passage, la marée laissait derrière elle une crème de vase épaisse de 1 à 2 cm, que les équipes de l'entreprise s'employaient à éliminer, pour leur sécurité d'une part, et afin de poursuivre leurs tâches d'autre part. Pour les bétonnages, en particulier, il était nécessaire d'adapter le pasage en concentrant les phases de bétonnage successifs sur les périodes de faibles marées, où la Loire ne venait pas

inonder la zone de travaux et déposer sa crème de vase sur les armatures en attente de bétonnage (photo 11). En outre, pendant toute cette période d'inondabilité de la zone de travaux, il était nécessaire, avant le passage de la marée, d'évacuer tous les matériels du dessous de l'ouvrage et de les descendre à nouveau après son passage (photo 12).

L'autre contrainte majeure du chantier

était la réalisation du cuvelage en sous-œuvre dans un espace très contraint et exigü. L'amenée des matériaux à pied d'œuvre a nécessité de nombreuses manutentions. Les matériels et matériaux nécessaires à la réalisation des travaux étaient descendus sous l'ouvrage par l'intermédiaire d'une trémie provisoire, ouverte par l'entreprise dans la dalle de quai, lui permettant de distribuer ses approvisionnements sous

quai. La réalisation des micropieux sous le cuvelage a été effectuée depuis le dessus de la dalle de quai, par l'intermédiaire de carottages de 200 mm de diamètre effectués à travers celle-ci. Sous ouvrage, la tige de forage était guidée et maintenue en place par une mini-pelle. Tous les matériels nécessaires au coffrage et à la réalisation des bétons du cuvelage ont été amenés à pied d'œuvre par la trémie et par l'intermédiaire de mini-pelle ou manuellement, avec la limite de poids que cela impliquait (photo 13). La mise en œuvre des bétons a été systématiquement effectuée à l'aide d'une pompe à béton.



14

### LA LAME DE VERRE ET SA MISE EN LUMIÈRE

La lame de verre inclinée à 45° sur une surface de près de 800 m<sup>2</sup> est le support de citations évoquant les combats qui eurent lieu à travers le monde et à travers les siècles contre l'esclavage.

11- Crème de vase déposée sur la radier après le passage de la marée.

12- Enlèvement des engins sous le quai avant la marée.

13- Coffrages mis en œuvre sous l'ouvrage.

14- Coupe type de la lame de verre.

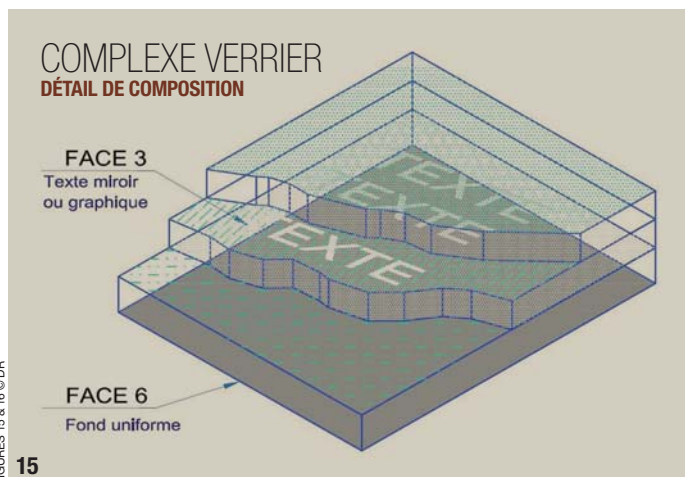
11- Fluid mud deposited on the invert after the passage of the tide.

12- Removal of machinery under the quay before the tide.

13- Formwork set up under the structure.

14- Typical cross section of the glass slide.





Le verre présente des effets plastiques particuliers, et sa composition tend à donner l'impression que le texte flotte dans l'épaisseur du verre. Les lames de verre qui constituent l'écran présentent une hauteur inclinée d'environ 8,60 m, dont la partie inférieure se trouve sous le niveau quai et la partie supérieure au-dessus du niveau quai d'environ 1,50 m. L'écran de verre est constitué de lames de verre qui s'insèrent dans chaque baie de la trame structurelle poteau-poutre béton support du quai. Typiquement, deux lames emplissent une baie. Chaque lame est divisée en deux panneaux de verre avec un joint horizontal, à environ 3/5<sup>e</sup> de la hauteur totale. Seuls les panneaux inférieurs reçoivent des textes. Les panneaux supérieurs ont une fonction de garde-corps au droit de l'escalier donnant accès à la partie sous le quai. Les vitrages sont supportés par des cadres métalliques constituant le plan incliné. Ils sont fixés par le biais de profils inox collés structurellement en face arrière non vue. Les vitrages supérieurs émer-

geant du sol ont une partie en porte-à-faux par rapport aux cadres métalliques et aux consoles de support (figure 14). Le complexe verrier (figure 15) doit rendre les effets de profondeur recherchés par les artistes concepteurs du projet. Les vitrages sont tri-feuilletés pour inclure les traitements permettant d'obtenir ces effets plastiques :

→ Un traitement translucide continu mat en face vue permet de supprimer les effets de réflexion, mais aussi de donner une légère distance par rapport au texte par un effet de voile ;

→ Un texte miroir (très réfléchissant) permet de capter la lumière ambiante (naturelle ou éclairage artificiel) et de lire malgré l'effet de voile (pour les vitrages inférieurs uniquement). Le texte au centre de l'épaisseur du vitrage doit donner l'impression de flotter ;

→ Une surface opaque, métallisée ou grise et réfléchissante, crée un fond pour le texte (couleur au choix de la maîtrise d'œuvre).

Le site du mémorial compte plus de 200 points lumineux, dont plus de 80

**15- Complexe verrier.**

**16- Étude lumière de MHLighting.**

**15- Glass barrier material.**

**16- Light design by MHLighting.**

dédiés à la mise en lumière de la lame de verre. La lame émergente est éclairée en continu par la mise en place de 57 barres de LED pilotées en trichromie DMX, qui permet de composer toutes les couleurs souhaitées avec une base de trois couleurs primaires, et ainsi de proposer de nombreux scénarii de couleurs (figure 16). □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Nantes Métropole

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Arcadis (mandataire), agence Rouleau (architecte)

**SOUS-TRAITANTS :** RFR, MHLighting

**ARTISTES :** Krzysztof Wodiczko associé à Julian Bonder

**BUREAU DE CONTRÔLE :** Veritas

**SPS :** ARIA

**ENTREPRISES :** Lot n° 1 (travaux préparatoires, terrassements, génie civil, aménagements de surface), Groupement DLE Ouest (mandataire) / EMCC / Forclum / GTM Ouest ; lot n° 2 (lames de verre), Polar glass ; lot n° 3 (inserts), Atelier E.Baroit ; lot n° 4 (passerelle bois), SLE ; lot n° 5 (éclairage), Citelum ; lot n° 6 (aménagements paysagers), ISS espaces verts ; lot n° 7 (ascenseurs), Arvor automatisme ; lot n° 8 (serrurerie), CMR

## ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF THE SLAVERY ABOLITION MEMORIAL IN NANTES

ARCADIS: FRANÇOIS BAILLY, GILDAS LE GALL, BRUNO VASSEUR

**The Slavery Abolition Memorial in Nantes**, planned about ten years ago as a reminder of the significance of the triangular trade in France and to celebrate the abolition of slavery, will finally take the form of a commemorative meditation path together with an information area, directed by the artist Krzysztof Wodiczko. Construction of the structure, on the Fosse quay, between Anne-de-Bretagne bridge and Schœlcher foot bridge, faced two major constraints: the need to follow the rhythm of the tides, due to regular submersion of the work area, and the performance of underpinning, in a very confined space. □

### CONSTRUCCIÓN DEL MEMORIAL A LA ABOLICIÓN DE LA ESCLAVITUD EN NANTES

ARCADIS: FRANÇOIS BAILLY, GILDAS LE GALL, BRUNO VASSEUR

**Decidido hace cerca de una década, el Memorial a la Abolición de la Esclavitud en Nantes**, destinado a recordar la importancia del comercio triangular en Francia y a celebrar la abolición de la esclavitud, adquirirá finalmente la forma de un recorrido conmemorativo y de meditación combinado con un espacio de información bajo la dirección del artista Krzysztof Wodiczko. La construcción de la estructura en el muelle de la Fosse, entre el puente Anne-De-Bretagne y la pasarela Schœlcher, presenta dos requisitos importantes: la necesidad de seguir el ritmo de las mareas, con la sumersión regular de la zona de obras, y la realización en recalce en un espacio muy reducido. □

# MODERNISATION DES INFRASTRUCTURES DU PORT DE DIEPPE

AUTEUR : YOUNÈS EL GOURARI, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX.  
COLLABORATION DE DIDIER JULIEN, DIRECTEUR D'AGENCE, IOSIS NORMANDIE, ET TOM RENAUD, CHEF DE PROJET SCE

LA MODERNISATION DU PORT DE DIEPPE OFFRIRA DE NOUVELLES OPPORTUNITÉS AUX USAGERS. LA CONCEPTION DU PORT À SEC, UNIQUE EN SON GENRE, ET SA RÉALISATION ATYPIQUE PERMETTENT D'ENVISAGER LA RÉAPPROPRIATION DES CALES SÈCHES ET LA RÉUTILISATION DES FRICHES PORTUAIRES, TOUT EN CONSERVANT LE CARACTÈRE HISTORIQUE DES LIEUX. LA RÉALISATION DE LA ZONE TECHNIQUE DÉDIÉE À LA PÊCHE FAVORISE UNE SOLUTION GLOBALE AUX BESOINS DES PROFESSIONNELS GRÂCE À SON OUTIL DE LEVAGE-STOCKAGE EXCEPTIONNEL ET À SON GÉNIE CIVIL ADAPTÉ EN CONSÉQUENCE.



## VALORISER LA PLAISANCE ET LA PÊCHE

Depuis janvier 2007, le syndicat mixte du port de Dieppe (SMPD) a entrepris un vaste plan de modernisation des infrastructures portuaires afin de valoriser les rôles principaux du port : le transmanche, le commerce, la pêche et

la plaisance. En 2010, Eiffage travaux maritimes et fluviaux (ETMF, agence Normandie) intervient dans deux projets remarquables : la création d'un port à sec pour la plaisance dans une forme de radoub, et l'aménagement d'une zone technique dédiée à la pêche dotée d'un élévateur de 400 t.

## LA ZONE DE PLAISANCE : CRÉATION D'UN PORT À SEC

À l'offre plaisance, qui représente une part importante de l'économie et du tourisme de la région dieppoise, et qui comporte aujourd'hui trois bassins accessibles à toute heure sans contrainte de marée (capacité, 560 places),

le SMPD a imaginé l'adjonction d'un port à sec. Ce projet initié dès 2005 par Alain Levern, président du SMPD, a été confié en études de faisabilité à Creocan. Les premières études ont mis en évidence la possibilité de réutiliser l'ancienne forme de radoub en port à sec afin d'y accueillir, sur trois

**2- Plan de situation.**

**3- Zone technique de pêche, simulation 3D, vue aérienne.**

**4- Zone de plaisance, simulation 3D, vue piétonne.**

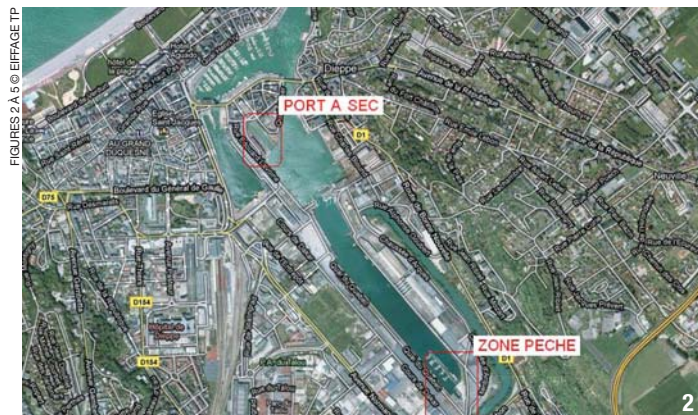
**5- Zone de plaisance, simulation 3D du transtockeur.**

**2- Location drawing.**

**3- Fisheries technical area, 3D simulation, aerial view.**

**4- Leisure boating area, 3D simulation, pedestrian view.**

**5- Leisure boating area, 3D simulation of the storage/retrieval machine.**



à quatre étages, plus de 300 bateaux à moteur de 7 m de long au cœur d'un espace adapté aux manœuvres à terre. La mutation de l'ancienne cale sèche en port à sec constitue un projet unique en France, qui allie histoire et technologie. L'aménagement du site est réalisé dans le contexte plus large de l'aménagement urbain de l'île du Pollet (figure 2), en deux phases :

- Création du port à sec et aménagement provisoire des abords (figure 2) ;
- Aménagement global du site : agencement urbain et bâtiments (marché de définition des besoins et solutions en 2011).

Les enjeux sont les suivants :

- Créer un port à sec d'une capacité propre à assurer sa pérennité ;
- Préserver l'identité portuaire et historique du lieu ;
- Respecter les mesures de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager du site (ZPPAUP) ;
- Équiper le port à sec d'une zone technique pour ses besoins et les demandes supplémentaires ;
- Assurer l'accessibilité au site par la voirie et les bassins ;
- Aménager et conforter les liaisons douces sur l'ensemble du site.

C'est l'enjeu d'insertion urbaine qui a amené à intégrer les bateaux dans la forme de radoub et à les superposer sur des « étagères ». Le niveau supérieur est situé légèrement sous l'arase des terre-pleins, offrant une sensation de

mise à flot des bateaux visibles depuis l'espace alentour (figure 4). Un dispositif de protection transparent réglementaire au droit de l'ouvrage permet au public de se promener autour de la forme, de s'approcher des bateaux parqués en toute sécurité tout en regardant évoluer les engins de manutention.

L'exiguïté de la forme a amené à privilégier un dispositif de manutention automatisé, ce qui permet de réduire les espaces nécessaires aux manœuvres (figure 5). Le parti pris se veut suffisamment flexible pour conserver une latitude dans les choix d'aménagement des abords à moyen terme (phase 2). Le projet propose de dégager suffisamment d'espace autour de l'ouvrage imposant que constitue la forme de radoub pour maintenir des perspectives sur le site et sur les alentours, quais, bassins, port à flot. Les anciens rails de grue, les bittes d'amarrage, les pavés au sol, la clôture en brique sont conservés pour préserver l'identité du lieu. Les aménagements intègrent enfin la réalisation d'un dispositif de protection contre les inondations, afin d'éviter toute submersion en cas de tempête exceptionnelle.

**FERMETURE ET NETTOYAGE DE LA FORME DE RAOUB**

La forme de radoub est en maçonnerie de moellons et de briques. Elle présente une longueur de 125 m environ, une largeur de l'ordre de 18 m à la base et de 24 m en tête pour une hauteur de 9,50 m environ. La fermeture était réalisée par un bateau-porte métallique de 300 t. Cette fermeture n'était plus étanche, et l'état général en était médiocre, avec une corrosion très développée et de nombreuses fuites constatées lors d'inspections antérieures. Enfin, un lest béton avait été coulé à l'intérieur du bateau-porte pour améliorer sa stabilité. Une grande quantité de sédiments s'était posée dans le fond de cette cale, dont une partie présentait des traces de pollution. Les travaux de fermeture et de nettoyage de la forme de radoub, confiés au groupement mené par Eiffage travaux maritimes et fluviaux, ont été les suivants :

- Comblement des anciennes galeries de remplissage et de vidange de la forme de radoub ;
- Étanchéité du bateau-porte ;
- Épuisement et évacuation des vases polluées vers un centre de traitement ;
- Dévasement des vases saines vers l'arrière-port ;
- Démolition et évacuation des tins ;
- Nettoyage des parois ;



## LA ZONE TECHNIQUE DE PÊCHE : 4 OUVRAGES AQUATIQUES ET TERRESTRES

L'activité pêche reste importante, et les outils, notamment de maintenance, étaient obsolètes ; ils obligeaient les pêcheurs à des déplacements importants pour la maintenance : Synchronlift ancien – ascenseur à bateaux à plancher mobile supporté par quatre treuils

et de capacité réduite (200 t), nécessitant des travaux importants dans le cas d'une remise en état. De plus, l'ancienne installation ne répondait plus aux normes environnementales, aux conditions de sécurité et de confort pour les utilisateurs. Par ailleurs, la capacité était insuffisante au regard des unités de pêche existantes sur Dieppe. Leur nombre est modeste, mais les temps

d'entretien sont réduits du fait de l'activité spécifique de Dieppe (pêche côtière puis pêche à la coquille). Les durées de pêche étant raccourcies, il faut pouvoir effectuer des réparations d'urgence rapidement pour ne pas impacter les revenus des pêcheurs. L'ancien Synchronlift, de capacité insuffisante, offrait en outre des temps de manœuvre beaucoup trop longs.

## ÉLÉVATEUR AUTOMOTEUR

Il a donc été décidé d'équiper le service maintenance d'un appareil adapté, les unités les plus importantes sur Dieppe pesant près de 400 t. C'est ce poids qui a servi de référence à la conception de l'ouvrage.

Des bateaux jusqu'à 25 m de long et 8 m de large peuvent être pris en charge.

Le choix s'est porté sur un élévateur automoteur qui permet beaucoup plus de souplesse de fonctionnement (pas de chariots, pas de rails, emplacements plus libres).

Cet élévateur est à quatre roues directrices, ce qui est rare et lui confère une plus grande manœuvrabilité. Cela permet aussi de réduire les surfaces nécessitant un renforcement lourd.

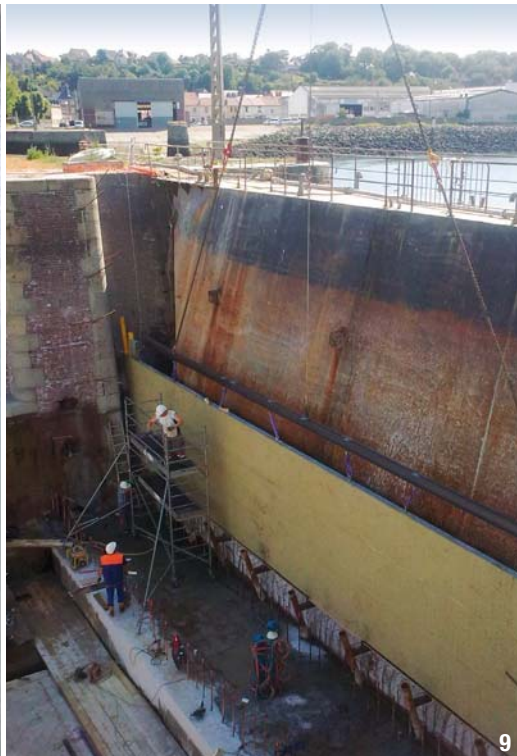
Le nombre d'emplacements programmé, à terme, sera de douze bateaux.

Il est actuellement réalisé pour six bateaux, avec une zone d'extension plus légère pour les unités de plaisance (figure 3).

L'aménagement comprend également des points de raccordement aux réseaux pour l'entretien, un bureau pour le personnel, un local outillage et des sanitaires (de l'équipement et du port de plaisance voisin). ▷



8



9



10



11



12



13

8- Zone de plaisance, intervention sur galeries.

9- Zone de plaisance, palonnier et coffrage 1<sup>re</sup> levée.

10- Zone de plaisance, ancrages.

11- Zone de plaisance, coffrage 3<sup>e</sup> levée.

12- Zone de plaisance, mur-poids réalisé lasuré.

13- Zone de plaisance, mur-poids réalisé et forme de radoub nettoyée.

8- Leisure boating area, work performed on cable tunnels.

9- Leisure boating area, lifting beam and formwork for first concrete lift.

10- Leisure boating area, anchorages.

11- Leisure boating area, formwork for third concrete lift.

12- Leisure boating area, gravity wall completed with preservative coating.

13- Leisure boating area, gravity wall completed and dock cleaned.

L'ensemble de la zone technique compte près de 10 000 m<sup>2</sup>. Les bateaux sont prévus calés par des bers mobiles de différentes forces, en fonction des unités traitées. Chaque emplacement peut fonctionner de manière autonome en ce qui concerne les énergies (compactages indépendants permettant une facturation réelle à l'usage).

La collecte des eaux pluviales et des eaux de carénage passe par des ouvrages de traitement spécifiques. Cet espace privilégié a aussi nécessité de réaménager l'ensemble des voiries périphériques afin d'assurer le passage des grues mobiles lourdes utilisées pour les opérations de chargement-déchargement des bateaux de commerce, tout en préservant le réseau ferré portuaire.

### GÉNIE CIVIL DE LA ZONE ÉLÉVATEUR

Les travaux confiés au groupement mené par Eiffage ont été les suivants :

- Démolition de l'ancien ascenseur à bateaux ;
- Terrassement de la plate-forme d'évolution de l'élévateur avec substitution ;
- Battage de 28 tubes métalliques de longueur 22 ml à partir du quai ;
- Préfabrication des chevêtres béton armé et de la voie de roulement, puis pose et clavetage dans la darse à partir du quai ;
- Exécution de la dalle d'évolution de 6 500 m<sup>2</sup> épaisseur 40 cm en béton armé, calculé comme un radier ;
- Construction d'une masse béton de 440 t destinée aux essais, avec bache à eau intégrée (permettant d'ajouter 60 t pour les essais dynamiques de l'élévateur) ;
- Mise en place d'un débarcadère flottant ;
- Mise en œuvre de défenses caoutchouc.

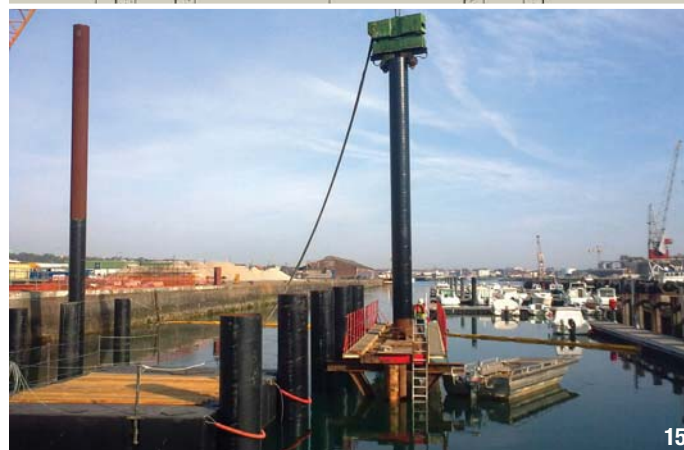
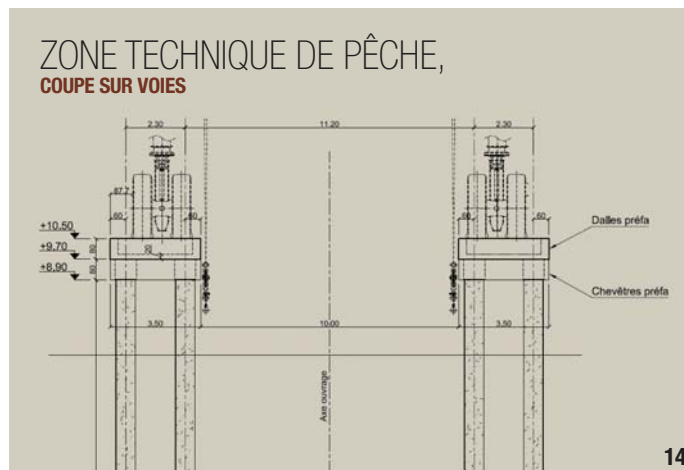
### VOIES DE ROULEMENT AQUATIQUES

L'élévateur, monté sur quatre paires de roues de 2 ml de diamètre et 2,5 ml de largeur, prend en charge les bateaux et les remet à l'eau en roulant sur deux voies en béton fondées sur des paires de pieux métalliques. Ces voies forment une darse d'une ouverture de 10 ml dans laquelle les bateaux de pêche peuvent être pris en charge quels que soient les niveaux de marée dans ce bassin à flot (qui présente toujours un niveau d'eau minimal). Les caractéristiques des voies (figure 14) sont les suivantes : longueur totale, 30 ml ; largeur 3,5 ml ; hauteur, 0,80 ml.

La méthode de réalisation des voies de roulement prévue initialement par voie nautique a été repensée afin de privilégier une solution mixte de travaux de préfabrication du génie civil à terre et de battage à partir du quai, puis de tra-

voux de finitions nautiques. Après avoir vérifié la tenue des quais, une grue sur chenilles à flèche treillis de forte capacité a permis à la fois de vibrofoncer et de battre les tubes de fondation, puis d'effectuer les travaux de béton armé.

28 tubes (longueur 22 ml, diamètre 711 mm) ont été battus à leur position définitive, et des contrôles de battage ont démontré la nécessité d'augmenter leur portance. Une campagne de rabotage in situ des tubes métalli-



14- Zone technique de pêche, coupe sur voies.

15- Zone technique de pêche, battage.

16- Zone technique de pêche, préfabrication.

17- Zone technique de pêche, pose des éléments préfabriqués.

18- Zone technique de pêche, coulage des voies.

19- Zone technique de pêche, génie civil terminé.

14- Fisheries technical area, cross section on tracks.

15- Fisheries technical area, pile driving.

16- Fisheries technical area, prefabrication.

17- Fisheries technical area, placing prefabricated elements.

18- Fisheries technical area, track casting.

19- Fisheries technical area, civil engineering work completed.



**20- Zone technique de pêche, élévateur en action.**

**20- Fisheries technical area, lift in action.**

ques a donc été réalisée avec des longueurs complémentaires de 6 ml et des contrôles soudures complets. Puis une mise à la cote par battage a éprouvé la portance nécessaire (photo 15).

Profitant de l'espace disponible temporairement sur la zone portuaire, et afin de réduire les temps de construction et les risques liés à des travaux de coffrage sur l'eau, les chevêtres et

les poutres-dalles ont été préfabriqués avec toutes leurs attentes d'armature pour recréer, une fois montées, les liaisons béton armé.

Les pieux ont d'abord été bétonnés afin d'augmenter leur rigidité, notamment face aux efforts de vent importants dus au masque créé par l'élévateur avec le bateau chargé (surface au vent maximale d'environ 300 m<sup>2</sup> !), mais aussi face à la conception même de ce genre d'élévateurs, qui sont des portiques ouverts et qui induisent une reprise d'efforts horizontaux opposés en pied. Des cages d'armatures sont prémontées en tête des pieux avec une attention toute particulière, car leur bon positionnement conditionne le croisement avec les armatures des parties préfabriquées.

On comprend alors l'importance de la précision de battage initial des tubes (photo 16).

Les chevêtres (parties servant de liaison en tête des paires de pieux et reprenant la partie voie horizontale) sont alors posés à l'aide de goussets métalliques soudés préalablement en tête de pieux et grâce à des réservations tubulaires qui les traversent (photo 17).

Les poutres-dalles, de longueur unitaire 4,3 ml, sont quant à elles préfabriquées en berceau afin de limiter leur poids au levage, et bi-appuyées sur les chevêtres. Des coffrages ponctuels de liaison permettent enfin de bétonner l'ensemble des voies en une seule fois (avec la liaison des pieux), évitant ainsi tout problème de reprise de bétonnage (photos 18, 19 et 20). □

## ZONE DE PLAISANCE

**CRÉATION D'UN PORT À SEC : MARCHÉ DE FERMETURE ET DE NETTOYAGE DE LA FORME DE RADOUB**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Syndicat mixte du port de Dieppe

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Groupement SCE-Creocan

**ENTREPRISES :** Eiffage travaux maritimes et fluviaux, EMCC

**SOUS-TRAITANTS :** STS (plongeurs), DLE (groupe Eiffage – système de pompage)

**ÉTUDES TECHNIQUES D'EXÉCUTION :** Eiffage construction Haute Normandie

PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON :** 750 m<sup>3</sup>

**COFFRAGE MATRICÉ :** 420 m<sup>2</sup>

**ÉVACUATION TRAITEMENT DE VASES POLLUÉES :** 500 m<sup>3</sup>

**ÉVACUATION DE VASES SAINES :** 2 000 m<sup>3</sup>

**DÉMOLITION DU BATEAU-PORTE :** 300 t

**2 SYSTÈMES DE POMPAGE :** 15 m<sup>3</sup>/s

## ZONE TECHNIQUE DE PÊCHE

**ÉLÉVATEUR 400 T : LOT DE 4 OUVRAGES AQUATIQUES ET TERRESTRES**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Syndicat mixte du port de Dieppe

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Groupement Iosis-ISM-AEI

**ENTREPRISES :** Eiffage travaux maritimes et fluviaux (mandataire), Ouine TP

**SOUS-TRAITANTS :** SAS (armatures)

**ÉTUDES TECHNIQUES D'EXÉCUTION :** Eiffage construction Haute Normandie

PRINCIPALES QUANTITÉS

**DALLE DE MANŒUVRE ET STOCKAGE :** 6 500 m<sup>2</sup>

**TUBES BATTUS D762 MM LG 28 ML :** 28 unités

**ARMATURES :** 360 t

**BÉTON :** 2 600 m<sup>3</sup>

**DÉFENSES CAOUTCHOUC :** 80 m<sup>2</sup>

## ABSTRACT

### PORT OF DIEPPE INFRASTRUCTURE MODERNISATION

YOUNÈS EL GOURARI, EIFFAGE

**The modernisation of the Port of Dieppe**, carried out by its joint authority («Syndicat mixte»: SMPD), in all the fields assigned to it, provides the users with new opportunities. By choosing to acquire multiservice technological equipment, SMPD takes a long-term view and opens up new possibilities for port management. The design of the Dieppe dry port, unique of its kind, and its atypical development by ETMF, make it possible to consider reclamation of the dry docks and re-use of the port's waste land, while preserving the historical character of the location. The execution of the technical area dedicated to fisheries promotes a comprehensive solution for the industry's needs through its exceptional hoisting and storage facility and its corresponding civil engineering works. □

### MODERNIZACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DEL PUERTO DE DIEPPE

YOUNÈS EL GOURARI, EIFFAGE

**La modernización del puerto de Dieppe**, emprendida por su sindicato mixto (SMPD) en todos los ámbitos que le han sido confiados, permite ofrecer nuevas oportunidades a los usuarios. Al decidir dotarse de equipamientos tecnológicos y multiservicio, el SMPD se inscribe en el largo plazo y abre nuevas oportunidades en la gestión de los puertos. El diseño del puerto seco de Dieppe, único en su género, y su realización poco común por ETMF, permiten considerar la reapropiación de los diques secos y la realización de las zonas portuarias en desuso, conservando el carácter histórico de los emplazamientos. La realización de la zona técnica dedicada a la pesca favorece una solución global a las necesidades de los profesionales gracias a su excepcional herramienta de elevación-almacenamiento y a su consecuente ingeniería civil. □