



1

© CÉDRIC HELSLY

L'EXTENSION DU TERMINAL À CONTENEURS 2XL À FOS-SUR-MER

AUTEUR : DAVID BILLARDON, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

DANS LE BUT D'ACCROÎTRE L'EXPLOITATION DU TRAFIC DE CONTENEURS DANS LA RÉGION MARSEILLAISE, LE GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE A CONFIE AU GROUPEMENT SOLETANCHE BACHY FRANCE / BUESA / MENARD / EURO-VIA LA RÉALISATION D'UN NOUVEAU QUAÏ DE 240 m DE LONG ET DE 17 m DE TIRANT D'EAU SUR LA COMMUNE DE FOS-SUR-MER (13). LES TRAVAUX CONSISTANT À CONNECTER DEUX QUAÏS EXISTANTS EN COURS D'EXPLOITATION ONT DÉMARRÉ EN AVRIL 2018 ET SONT DORÉNAVANT SUR LE POINT DE S'ACHEVER. LA LIVRAISON TOTALE DU QUAÏ DOIT S'OPÉRER POUR LA FIN DE L'ÉTÉ 2020.

INTRODUCTION

De manière semblable à ce qui avait pu être réalisé sur les quais adjacents il y a quelques années, le marché de base prévoyait la réalisation d'un soutènement de type combi-wall (pieux tubulaires en acier et palplanches), appuyé par un niveau d'ancrages passifs (tirants métalliques et contre-rideau en palplanches).

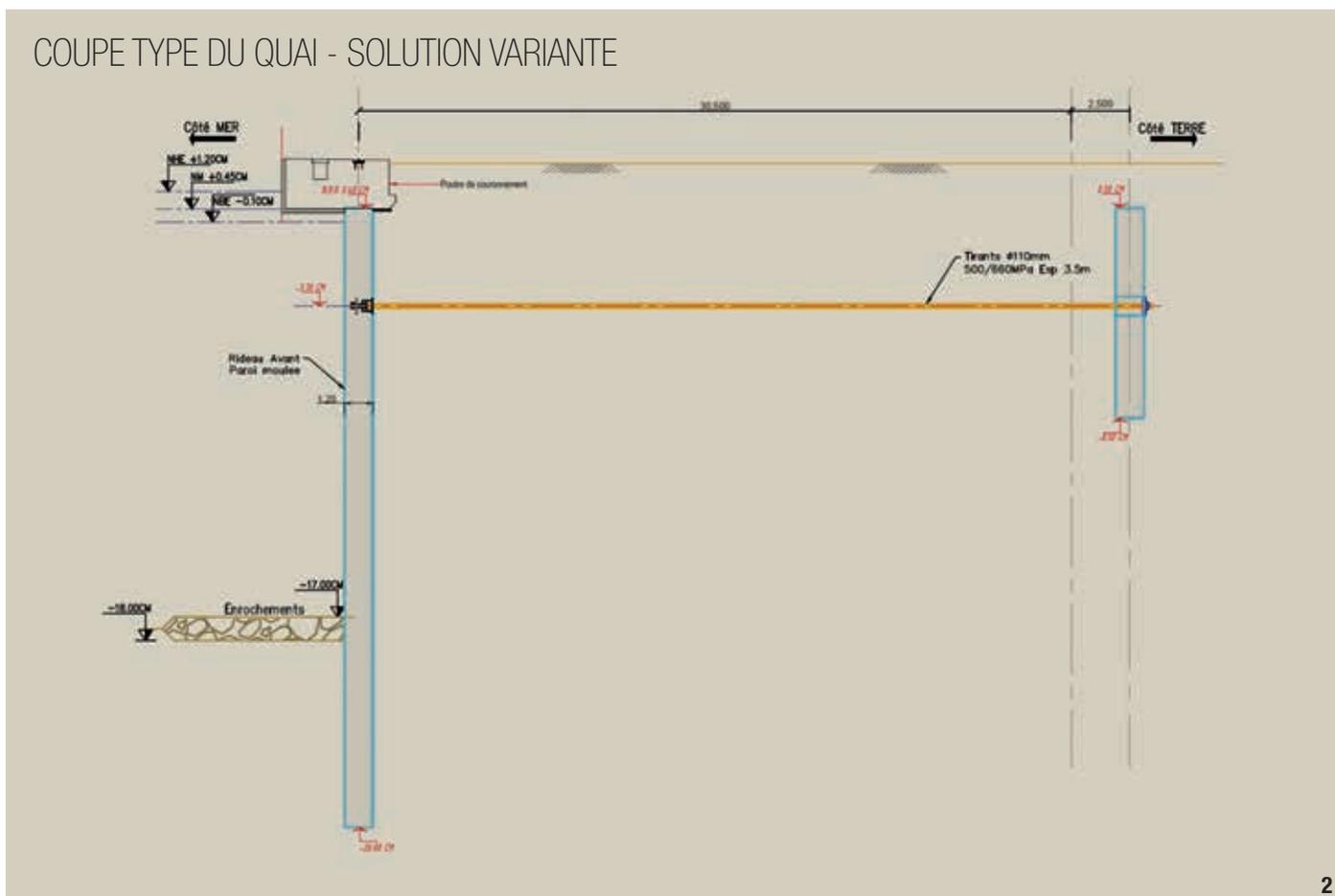
1- Vue d'ensemble du quai.

1- Overall view of the quay.

C'est finalement la solution variante développée par le groupement qui a été préférée. Cette dernière proposait notamment la réalisation d'un soutènement de type paroi moulée de 1200 mm d'épaisseur associée à une poutre de couronnement de 2,30 m de hauteur et 4,60 m de largeur. À l'image de la solution de base, le soutènement variante était également retenu par un

niveau d'ancrages passifs, constitués cette fois-ci, d'un ensemble de tirants et de pieux métalliques (figure 2). Les études géotechniques réalisées sur le site montrent une stratigraphie relativement homogène, composée en partie supérieure de sables, puis d'une épaisse couche de limons (jusqu'à -19 CM), tous deux de faible compacité. ▷

COUPE TYPE DU QUAÏ - SOLUTION VARIANTE



2

© SOLETANCHE BACHY

Ces matériaux reposent sur des alluvions compactes de type sablo-graveleuses identifiées comme des Cailloutis de Crau (substratum), et pouvant posséder un toit altéré et différents degrés de cimentation sur des épaisseurs variables.

Les études de cette solution ont été entièrement développées en interne par Soletanche Bachy, grâce notam-

ment à des supports de logiciels qui lui sont propres (Paris, Cacao), mais aussi avec des logiciels externes de référence (Plaxis, Robot) et avec l'étroite collaboration des autres membres du groupement. Pour plus de détails sur la phase de conception du projet, se référer à l'article "La Rotule du quai de Fos-sur-Mer" dans le magazine TRAVAUX n° 950 publié en avril/mai 2019.

2- Coupe type du quai - solution variante.

3- Réalisation des travaux de paroi moulée.

2- Typical cross section of the quay - variant solution.

3- Performing diaphragm wall work.

RÉALISATION DES TRAVAUX DIGUE LONGITUDINALE

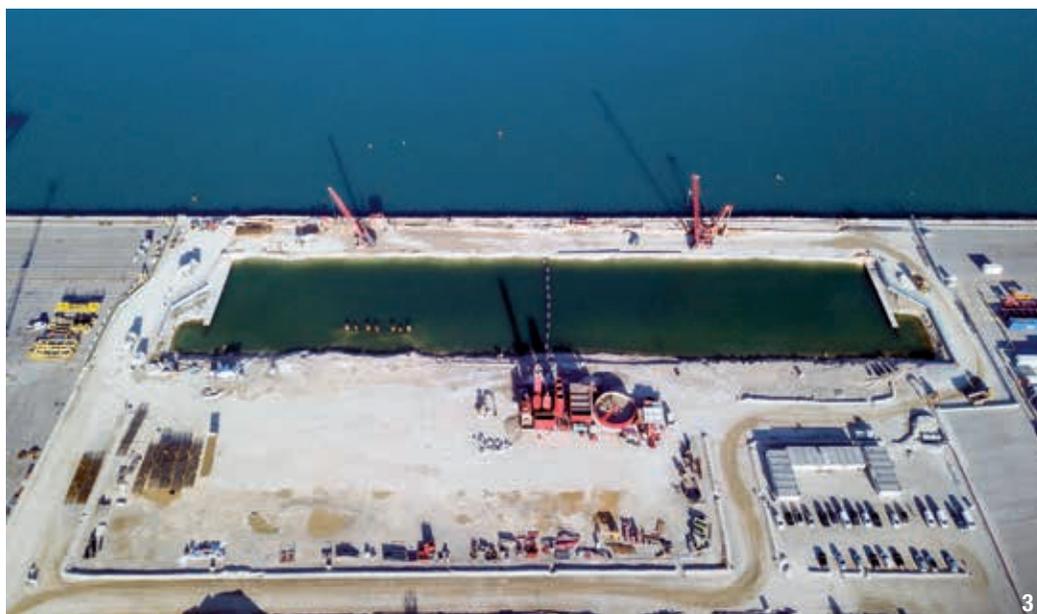
Entre juin et septembre 2018, les équipes de Buesa ont procédé à la réalisation d'une digue longitudinale provisoire composée de 400 000 t de matériaux de carrière qu'il aura fallu claper à l'aide d'une barge fendable. Les matériaux, de granulométries variées, ont été fournis par les carrières locales du massif de la Nerthe. Au total, une épaisseur de 20 m de remblais aura été mise en œuvre sur les limons, permettant ainsi la création d'une plateforme finie autour du niveau +2,5 CM.

AMÉLIORATION DE SOL

Afin d'assurer la stabilité globale de la digue ainsi créée et permettre le trafic des futurs engins de chantier, Menard a réalisé, en octobre 2018, des travaux de vibrocompaction. Les objectifs à atteindre, après passage de l'aiguille vibrante sur un maillage de 3,5 m x 3,5 m, étaient un module E_m supérieur à 20 MPa et une densité relative moyenne D_r supérieure à 60 %.

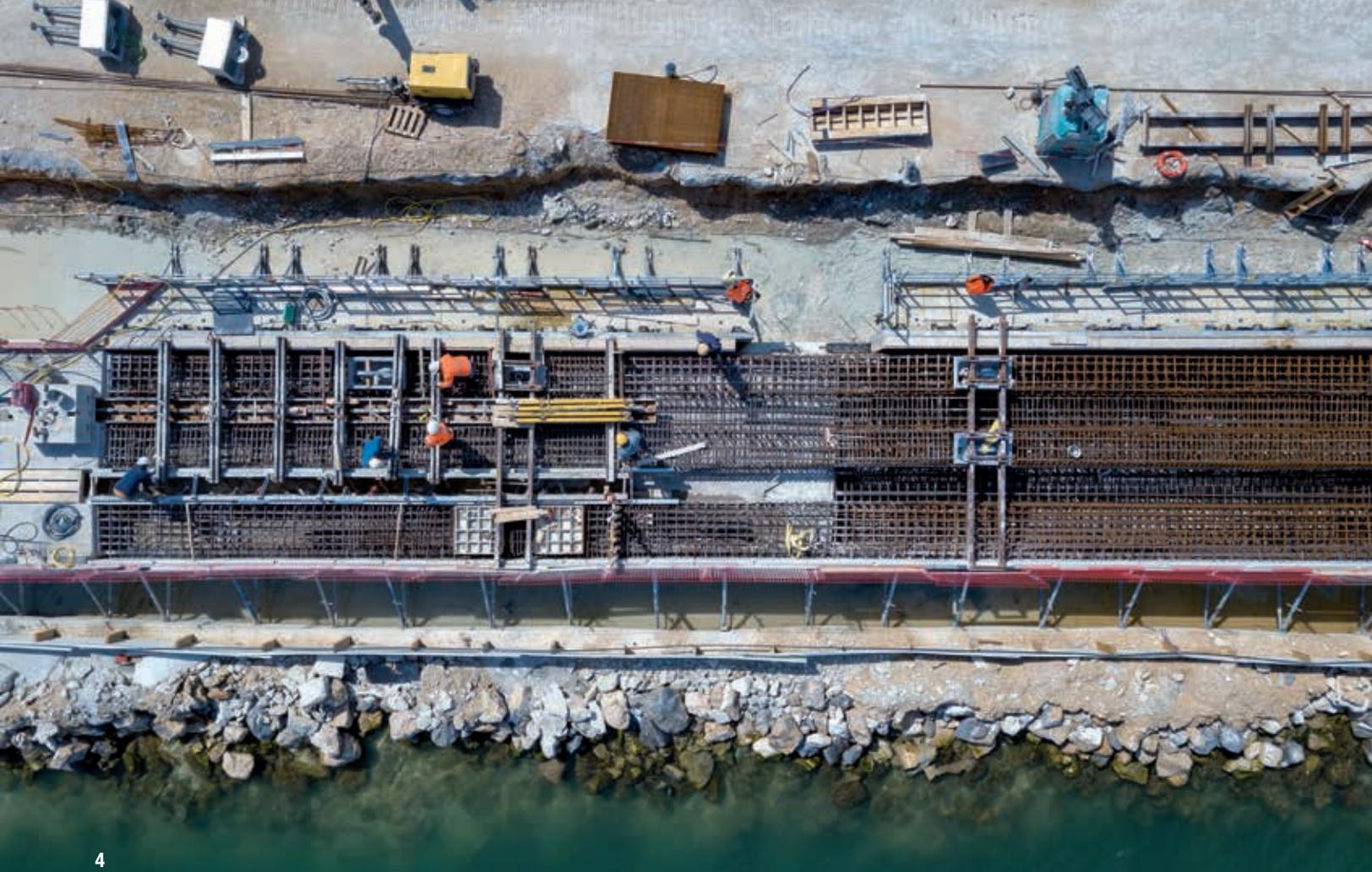
PAROI MOULÉE

Après validation des caractéristiques mécaniques de la digue suite à la vibrocompaction, les équipes de Soletanche Bachy ont pris le relais et ont alors pu



3

© CÉDRIC HELSLEY



4

© CÉDRIC HELSLY

démarrer les travaux de paroi moulée (figure 3). 34 panneaux de 7 m de largeur, 1,2 m d'épaisseur et 28 m de profondeur sont ainsi réalisés entre les mois de novembre 2018 et janvier 2019. Afin d'assurer la cadence et de permettre le bétonnage de 4 panneaux par semaine, le chantier a tourné en 3 postes, avec notamment 2 porteurs LB855 équipés, pour l'un d'une benne hydraulique de type KS, et pour l'autre, d'une benne lourde M8. L'encastrement de la fiche de la paroi dans le Cailloutis de Crau était assuré par les bennes lourdes et ce sont, au total, 9000 m³ de béton qui ont ainsi été coulés pour former le futur quai.

4- Réalisation de la poutre de quai.

5- Démontage de la digue arrière.

6- Travaux de vibrocompaction.

4- Execution of the quay beam.

5- Dismantling the rear dyke.

6- Vibratory compaction work.

POUTRE DE COURONNEMENT

Entre février et mai 2019, les deux centrales à béton alimentant le chantier ont continué à tourner à plein régime. La réalisation de la poutre de quai durant cette période a nécessité au préalable la mise en œuvre de béton de propreté immergé et la fabrication de 110 panneaux préfabriqués coulés sur site. Ces panneaux, disposés en "L" côté mer, sont destinés à créer une protection supplémentaire vis-à-vis des agressions du milieu marin. Lors des travaux, ils ont également permis aux armaturiers et aux équipes de génie civil de Soletanche Bachy de

travailler au sec et à l'abri des vagues. Le ferrailage de la poutre de quai était dense et majoritairement composé de barres HA40 qui ont rendu difficile l'insertion des différentes réservations et autres équipements de type bollards, voie de roulement, défenses, poste de brochage et d'ancrage (figure 4). Finalement, les bétonnages se sont faits en 2 levées de 200 m³ environ, et c'est un béton haute durabilité qui a dû être utilisé afin de satisfaire aux critères de l'ouvrage.

À ce stade, seules les deux zones de raccordement de la poutre aux quais existants n'avaient pas été coulées. ▷



5

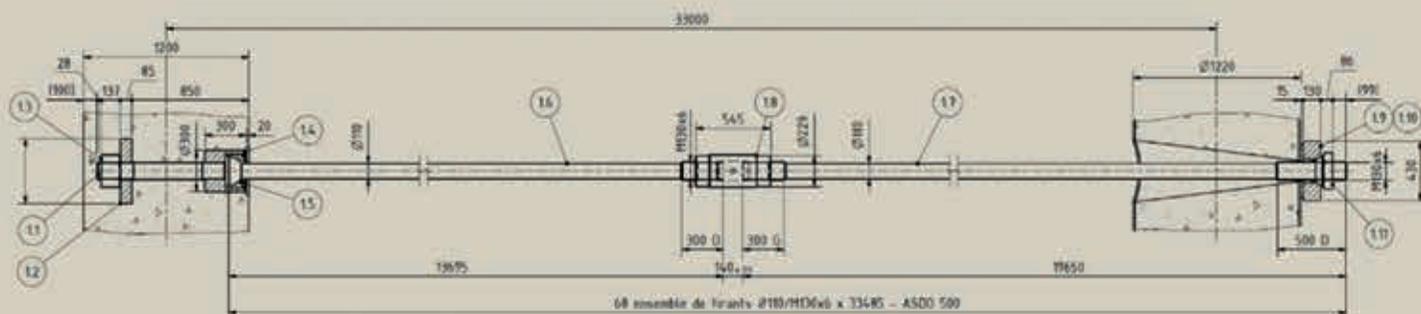
© SOLETANCHE BACHY



6

© SOLETANCHE BACHY

SCHÉMA DE PRINCIPE DU RIDEAU ARRIÈRE



7

© SOLETANCHE BACHY

En effet, en raison des déplacements pouvant être occasionnés lors des phases suivantes de travaux, il a été choisi de réaliser les jonctions en février 2020, après que les phases de déblais-remblais et de pose du rideau arrière avaient été totalement achevées.

REMBLAIS ARRIÈRE ET POMPAGE

Une fois le rideau avant terminé, le groupement pouvait alors procéder à l'aménagement de la zone côté terre, destinée à recevoir le contre-rideau et le support pour la voie de grue arrière des portiques. Dans un premier temps, il a fallu assurer le contact toute hauteur entre la paroi moulée et les tubes des combi-walls existants. Ainsi, à chaque extrémité du quai, des colonnes de Jet Grouting ont été mises en œuvre dans le but d'éviter toute fuite éventuelle de matériaux. Puis, dans un second temps, alors que Buesa démarrait les travaux de terrassement et de démontage de la digue située à l'arrière de la paroi moulée, Soletanche Bachy s'affairait aux travaux de rabattement de nappe (figure 5). L'objectif commun consistait dans la création d'une plate-forme intermédiaire à -3,50 CM, permettant le battage des 68 tubes d'ancrage et la pose des 2240 m de tirants du rideau arrière. Une fois la plate-forme terminée, une nouvelle phase de vibrocompaction a été menée par Menard, sur un maillage 3,2 m x 3,2 m cette fois, dans le but de venir à nouveau améliorer la capacité portante de l'ensemble (figure 6).

RÉALISATION DU RIDEAU ARRIÈRE

Entre juin et août 2019 ont eu lieu l'assemblage et la mise en place au fond de fouille des 68 tirants passifs de type

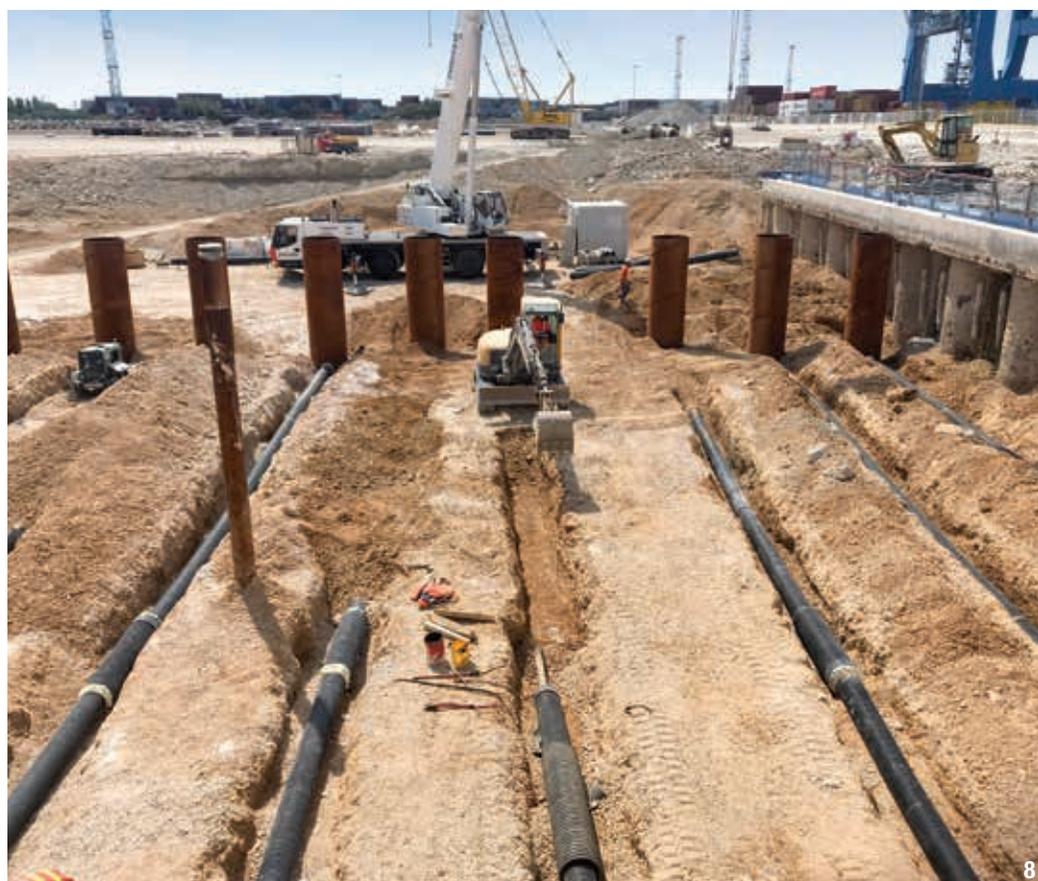
M130 d'Anker Schroeder constituant le contre-rideau. Une opération qui a donné du fil à retordre aux équipes qui ont expérimenté le peu de maniabilité de ces éléments de 33 m de longueur s'encastant, d'une part dans la paroi moulée grâce à un système de rotule, et d'autre part, dans un pieu métallique préalablement vibrofoncé dans les remblais (figures 7 et 8). Les tubes métalliques du rideau arrière, espacés de 3,5 m, affichaient une longueur de 9 m et un diamètre de 1220 mm.

7- Schéma de principe du rideau arrière.
8- Pose du rideau arrière.

7- Schematic diagram of the rear curtain.
8- Placing the rear curtain.

PIEUX ET LONGRINE ARRIÈRE

Au fur et à mesure que les équipes du contre-rideau avançaient, Buesa s'affairait pour démarrer le démontage de la digue avant et permettre ainsi de combler la zone arrière entre -3,50 CM et le niveau de plate-forme +0,8 CM nécessaire à la réalisation des pieux de fondation de la longrine arrière. Pour ce faire, une pelle de type Liebherr 966, positionnée au niveau de la poutre de couronnement, travaillait à la récupération des matériaux devant



8

© SOLETANCHE BACHY



9

© CÉDRIC HELSLY

9- Travaux de démontage de la digue avant.
10- Réalisation des pieux de la longrine arrière.

9- Work for dismantling the front breakwater.
10- Execution of rear longitudinal girder piles.

le quai et à l'envoi de ces derniers en direct à pied d'œuvre. Ces matériaux étaient ensuite repris et compactés par passes de 50 cm environ, avec pour objectif un module EV2 supérieur à 70 MPa et un rapport k inférieur à 2. Très vite, au fur et à mesure de l'approfondissement de l'excavation, des moyens supplémentaires terrestres et maritimes (tombereaux, pelle, pelle sur barge, barge, grue d'excavation) ont dû être mis en œuvre dans le but d'aller chercher le matériau à -17 CM et de constituer le remblai jusqu'à 60 m derrière le quai (figure 9).

Les équipes de Soletanche Bachy Fondations Spéciales sont ensuite intervenues pour réaliser les 79 pieux Starsol diamètre 1020 mm venant soutenir la longrine et la voie de roulement arrière. Comme pour la paroi moulée auparavant, l'ancrage s'est fait dans les cailloutis de Crau situés entre



10

© SOLETANCHE BACHY

-22,5 CM et -30 CM sur cette zone. Cette profondeur a notamment imposé l'emploi d'une foreuse de type Starsol F3500, capable d'atteindre une profondeur de forage maximale de 34 m (figure 10). Afin de faciliter le travail des armaturiers de la longrine dont le ferrailage allait encore une fois s'avérer dense et riche en HA40, une cage de tête a systématiquement été mise en place sur les pieux. Cela a notamment permis une orientation plus simple des aciers en attente des pieux, supposés recevoir ensuite les aciers longitudinaux de la longrine. Malgré la présence d'une nappe artésienne ne facilitant pas les opérations de forage et d'équipement de cages, l'ensemble des pieux de la longrine a été effectué entre octobre et début décembre 2019. C'est donc durant 3 mois d'hiver (jusqu'en février 2020) que les équipes de génie civil de Soletanche Bachy ont remis pied au plancher pour venir à bout des 930 m³ supplémentaires de béton qu'il aura fallu couler pour parfaire la longrine arrière. Bien que d'une taille inférieure à la poutre de quai (2,5 m de hauteur par 1,5 m de largeur), la longrine se retrouve être plus ferrillée, avec pas moins de 364 t d'acier pour les 300 m de linéaire qu'elle mesure (figure 11). Là encore, bon nombre d'équipements ont dû être mis en place : coffrages pour voie de roulement, poste d'ancrage et poste de brochage sont à insérer avec une précision de l'ordre de 5 mm. ▷

Les bétonnages pour cet ouvrage ont en revanche pu être réalisés en une seule levée. Durant cette phase, des ouvrages annexes, tels que la fosse à lyre destinée à recevoir les câbles d'alimentation des nouveaux portiques, ont également été ferrillés et bétonnés.

POSE DES ÉQUIPEMENTS

Dès l'achèvement de la réalisation de la longrine arrière, les équipes de Soletanche Bachy se sont affairées à poser les équipements de quai nécessaires à l'accostage et au déchargement des futurs navires. C'est ainsi que 7 bollards bi-bloc 150T, 19 défenses tronconiques d'accostage, 5 échelles de quai, 300 m de caniveaux à câbles, et 600 m de voie de roulement ont été posés avec précision (figures 12 à 14).

L'ensemble de ces opérations a été achevé en juillet 2020 et ce, malgré les quelques perturbations de la crise sanitaire liée à la Covid-19 qui aura mis le chantier à l'arrêt pendant 2 mois environ.



11

© CÉDRIC HELSLY

REMBLAIS ET VOIRIES

C'est pour cette ultime étape que les équipes d'Eurovia sont entrées en jeu dans les derniers mois de chantier afin de réaliser, en même temps que s'effectuait la pose des équipements, les travaux de réseaux et de voiries. Pour parfaire cette tâche, Buesa a achevé de monter les remblais le long de la lon-

grine jusqu'au niveau PST, afin qu'Eurovia puisse enchaîner avec les couches de forme en 0/60 et les couches de réglage en 0/20. Une partie des matériaux extraits de la digue avant a ainsi pu être concassée afin d'être réutilisée en remblais et en couche de forme. Enfin, deux couches de BBME de 10 et 9 cm d'épaisseur respectivement,

11- Réalisation de la longrine arrière.

12- Pose des bollards et des défenses.

13- Pose des voies de roulement.

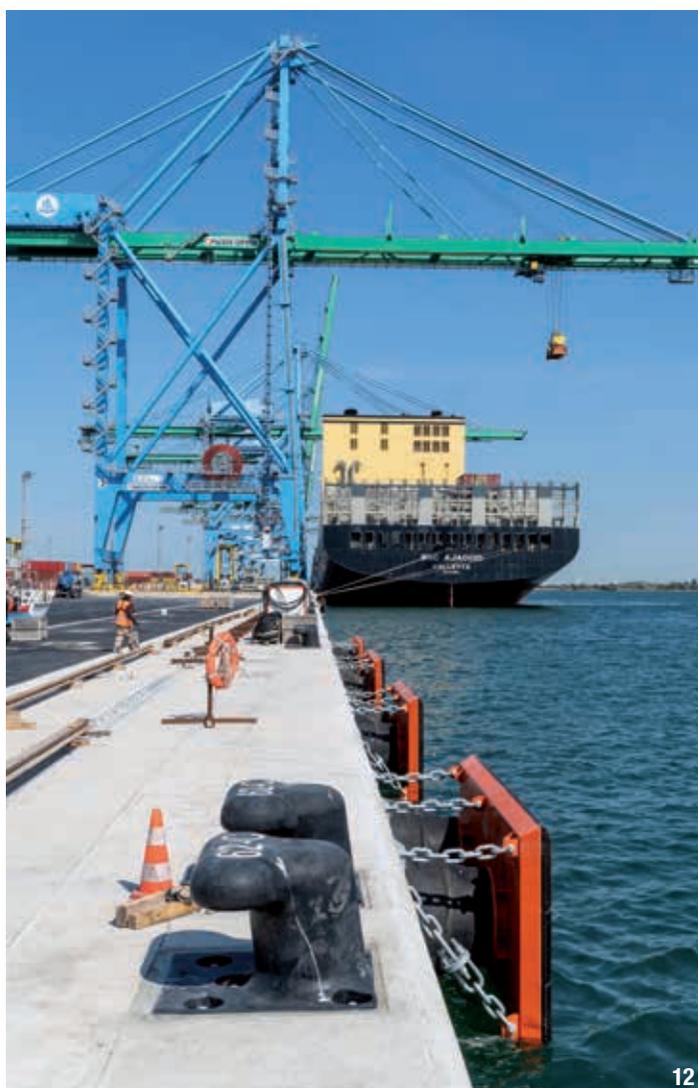
14- Pose des caniveaux à câbles.

11- Execution of rear longitudinal girder.

12- Placing bollards and protection systems.

13- Track laying.

14- Placing cable troughs.



12

© CÉDRIC HELSLY



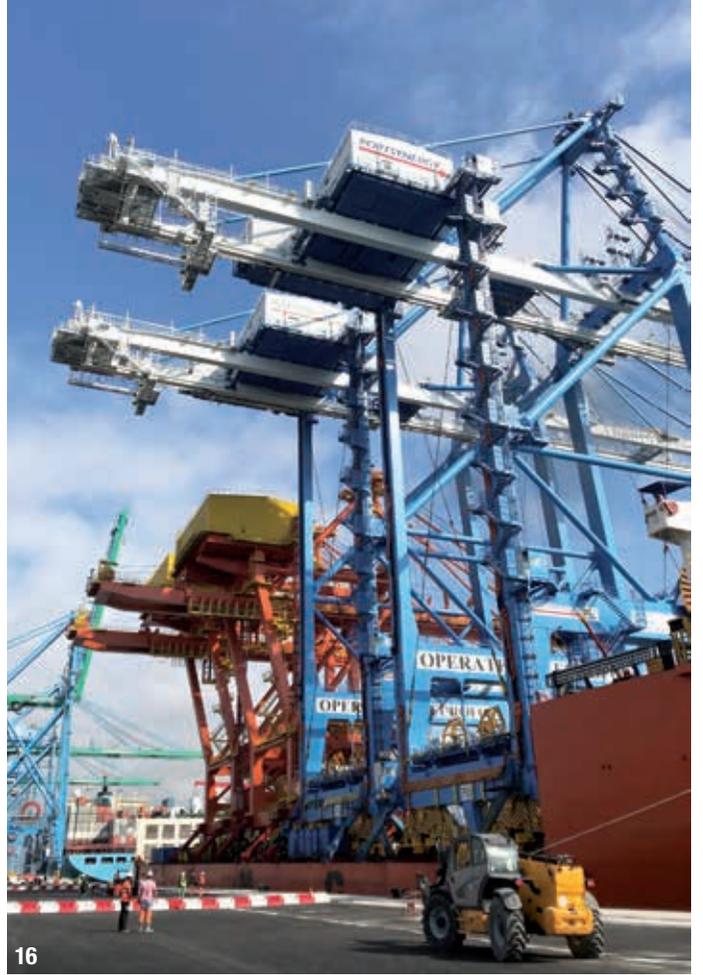
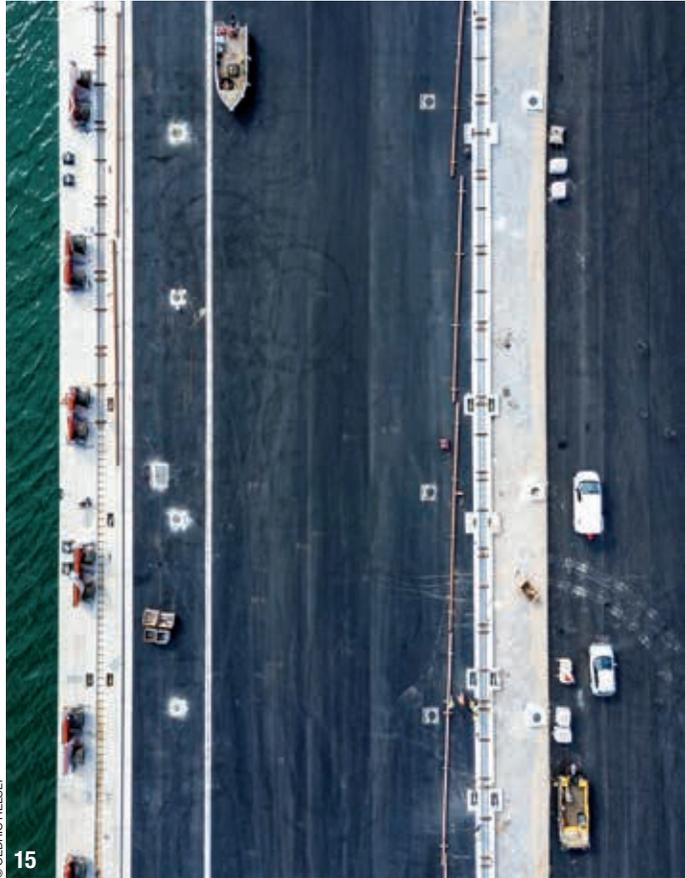
13

© CÉDRIC HELSLY



14

© CÉDRIC HELSLY



16
© SOLETANCHE BACHY

© CÉDRIC HELSILY

15

et une couche finale d'enrobé de 6 cm, ont permis de mettre le terre-plein arrière au niveau de la poutre de quai (figure 15).

Quelques jours plus tard, les 2 nouveaux portiques bleus étaient déchargés sur les rails du quai où ils allaient finir d'être assemblés et raccordés (figure 16). □

UN PREMIER TEST GRANDEUR NATURE

Les derniers travaux à peine achevés, il était alors possible d'apercevoir à l'horizon le navire transportant les nouveaux portiques destinés à circuler sur le quai.

En effet, le mardi 21 juillet 2020 au matin, après presque 4 mois passés en mer, un ancien pétrolier du nom de Zhen Hua 29 accostait de tout son long sur les défenses fraîchement posées.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Grand Port Maritime de Marseille
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** Grand Port Maritime de Marseille
- ASSISTANCE MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Cerema / Fondasol / Bri
- CSPS :** Veritas
- ENTRPRISES :** Soletanche Bachy France (mandataire) / Buesa / Menard / Eurovia

15- Réalisation des enrobés.

16- Arrivée des nouveaux portiques.

15- Asphalt mix production.

16- Arrival of the new gantry cranes.

PRINCIPALES QUANTITÉS

DIGUE PROVISOIRE :

- 401 000 t de matériaux

PAROI MOULÉE :

- Longueur : 240 m
- Béton : 9 000 m³
- Acier : 1 200 t

POUTRE DE COURONNEMENT :

- Béton : 2 456 m³
- Acier : 415 t

RIDEAU ARRIERE :

- Tubes métalliques : 68 unités
- Tirants : 2 240 m

LONGRINE ARRIÈRE :

- Béton : 930 m³
- Acier : 364 t

ÉQUIPEMENTS :

- Voie de roulement : 600 m
- Bollards : 14 u
- Défenses : 19 u

ABSTRACT

EXTENSION OF THE 2XL CONTAINER TERMINAL AT FOS-SUR-MER

DAVID BILLARDON, SOLETANCHE BACHY FRANCE

At Fos-sur-Mer, for Grand Port Maritime de Marseille, work has been completed on the construction of a port quay 240 metres long with a 17-metre draught. The work began in 2018. This new quay connects two existing quays in service and will soon allow the berthing of an additional container ship in Dock 2. The variant was preferred to the basic solution, and in the end it was a diaphragm wall quay together with an inner curtain wall formed of metal tubes with passive tie anchors that was installed between the existing quays executed previously by the combi-wall technique. □

AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL A DE CONTENEDORES 2XL EN FOS-SUR-MER

DAVID BILLARDON, SOLETANCHE BACHY FRANCE

En Fos-sur-Mer, está finalizando la realización de un muelle portuario de 240 m de longitud y 17 m de calado, cuyas obras, encargadas por Grand Port Maritime de Marseille, comenzaron en 2018. El nuevo muelle conecta dos muelles existentes y operativos, y pronto permitirá el atraque de un portacontenedores adicional en la dársena 2. Se ha optado por la variante frente a la solución de base, y finalmente se ha construido un muelle de pantalla de hormigón asociado a una contra-pantalla formada por tubos metálicos con tirantes pasivos, instalada entre los muelles existentes, previamente realizados mediante la técnica del combi-wall. □