

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX. BASSIN MIRABEAU - GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE. REMPLACEMENT PONT MOBILE DE SAINT-MALO. MORAY EAST EN ECOSSE. PROTECTION DES BERGES DU BIEF DE NIFFER. CONSTRUCTION DU PREMIER BARRAGE ANTI-TEMPETE EN BELGIQUE. JUMEAU NUMERIQUE AU SERVICE DE L'INSPECTION DE DIGUES. EXTENSION DU PORT DE NOUAKCHOTT. DIGUE DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHONE. EXTENSION DU PORT DE PORT-LA-NOUVELLE

N°979 JUILLET-AOÛT 2022



CENTRALE/ÉCLUSE
BOURG-LÈS-VALENCE
DRÔME
© CAMILLE MOIRENC/CNR

LES TRAVAUX
PUBLICS FEDÉRATION
NATIONALE

EcoSheetPile™ Plus

La solution acier durable



ArcelorMittal



Le quai de Ribécourt sur le Canal Seine Nord Europe est réalisé avec la solution acier EcoSheetPile™ Plus

Réduisez l'impact environnemental de vos projets avec les palplanches acier **EcoSheetPile™ Plus**.

Fabriquées à partir d'acier **100% recyclé** et **100% d'électricité certifiée de sources renouvelables**, leur production émet jusqu'à 61% de gaz à effet de serre de moins que les aciers conventionnels.



XCarb®

De sources recyclées
et renouvelables

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

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

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction

Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
TBS GROUP

Service Abonnement Revue Travaux
235, avenue le Jour se Léve
92100 BOULOGNE BILLANCOURT
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

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

Publicité

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

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

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

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

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

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

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

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

LE FLUVIAL : DES OPPORTUNITÉS À SAISIR



© DR

Le transport fluvial en France, après avoir été très utilisé dans la première moitié du 20^e siècle, est tombé progressivement dans l'oubli à partir des années 1960, à la différence de nos voisins européens belges, néerlandais ou encore allemands et alors que la France disposait et dispose encore du réseau fluvial le plus étendu d'Europe.

S'il reste mal connu, on assiste aujourd'hui, enfin, à un regain d'intérêt pour ce mode de transport, porté notamment par une sensibilité environnementale croissante et par une prise de conscience progressive des atouts majeurs qu'il offre. Le transport fluvial, c'est en effet en moyenne 5 fois moins de CO₂ et d'émissions polluantes, et 4 fois moins d'énergie consommée à la tonne transportée que le transport routier. À une époque où la maîtrise des émissions de GES et les coûts de l'énergie deviennent un enjeu majeur pour nos sociétés, le transport fluvial peut apporter, là où il est accessible, une contribution de premier plan.

Mais il serait réducteur de limiter ses atouts à ses seuls avantages écologiques et énergétiques. Il offre aussi des atouts bien réels au plan économique et logistique. Du fait de sa capacité à massifier les marchandises et à se comporter comme un entrepôt flottant, le transport fluvial réduit les coûts de transport et peut tout acheminer avec une extrême fiabilité et régularité, du déblai au colis en passant par les céréales, les produits chimiques, liquides ou solides, les conteneurs de toutes tailles, ou encore les matériaux en palettes ou en big bag destinés aux chantiers de toutes natures.

Au cœur des agglomérations, son utilisation permet de réduire les circulations de poids lourds et l'occupation des voiries. Il limite ainsi la gêne pour les riverains, contribue à faciliter l'acceptation des chantiers et permet en outre, dans les zones urbaines les plus denses, de générer des surfaces supplémentaires temporaires pour organiser les bases-vie et le stockage de matériaux liés aux besoins d'évacuation ou d'approvisionnement.

Voies navigables de France (VNF) soutient activement ce rebond d'intérêt pour le transport fluvial. D'une part, l'établissement met en œuvre une politique ambitieuse de régénération et de modernisation des ouvrages de navigation sur l'ensemble du réseau fluvial. Sur la seule liaison Seine-Escaut, en accompagnement des projets du Canal Seine-Nord Europe, MAGEO et Bray-Nogent et de HAROPA Port, ce sont aujourd'hui plus de 100 M€ qui sont investis annuellement, avec le concours de l'Europe et des régions concernées, pour remettre à niveau les infrastructures fluviales. Ces investissements ont pour ambition d'établir un nouvel axe majeur économique et logistique, créateur de richesses pour les territoires concernés entre Le Havre, Rouen, Paris, l'Est du bassin parisien, Dunkerque et le Nord de l'Europe.

D'autre part, VNF met en place, avec le soutien de plusieurs régions et de l'ADEME, un programme validé par l'Europe, de soutien au report modal qui permet d'accompagner financièrement les entreprises qui souhaitent recourir au fluvial. Enfin, l'établissement porte avec nombre de partenaires la modernisation et la mutation technologique et numérique du monde fluvial par une politique ambitieuse de soutien financier et d'innovations : nouvelles motorisations des bateaux (électriques, hydrogènes...), développement de systèmes d'information et de suivi en temps réel du trafic fluvial, autonomisation des bateaux, téléconduite d'ouvrages...

Une nouvelle ère s'ouvre aujourd'hui pour le fluvial au bénéfice de la performance économique, logistique et écologique des territoires et des entreprises. Sachons l'encourager et saisir les opportunités qu'offre ce mode de transport en pleine mutation.

DOMINIQUE RITZ

DIRECTEUR TERRITORIAL
DU BASSIN DE LA SEINE ET LOIRE AVAL
À VOIES NAVIGABLES DE FRANCE (VNF)



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

LE PROJET IMAGE © VNF





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



**ENTRETIEN AVEC
JÉRÔME DEZOBR**

CANAL SEINE-NORD EUROPE -
LE CHAÎNON MANQUANT
ÉCO-PERFORMANT

26 CNR
(COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE) -
FAIRE VIVRE UN FLEUVE AU FIL DE L'EAU



BASSIN MIRABEAU
Grand Port Maritime de Marseille -
De la modélisation 3D à la
réalisation des travaux de
terrassement



**REMPACEMENT
DU PONT MOBILE
DE SAINT-MALO**



MORAY EAST
an industrial challenge
in Scotland, to a tight schedule



**PROTECTION
DES BERGES DU BIEF
DE NIFFER (68)**



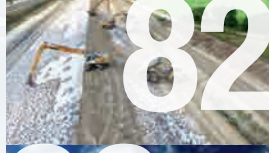
**CONSTRUCTION DU
PREMIER BARRAGE
ANTI-TEMPÊTE
EN BELGIQUE**
à Nieuport



LE JUMENTAU NUMÉRIQUE
au service de l'inspection de
carapaces de digues pour faciliter
et fiabiliser les plans de gestion
patrimoniale



PORT DE NOUAKCHOTT
Une extension pour suivre
l'expansion



DIGUE DE PROTECTION
contre les crues du Rhône
entre Tarascon et Arles et mise
en transparence d'un remblai
ferroviaire parallèle



**EXTENSION DU PORT
DE PORT-LA-NOUVELLE**
Région Occitanie





ACCROPODES ET JUMEAU NUMÉRIQUE À PORT-LA-NOU- VELLE

Bouygues Travaux Publics

agrandit le port de Port-la-Nouvelle qui deviendra un hub de la logistique pour l'éolien flottant en Méditerranée.

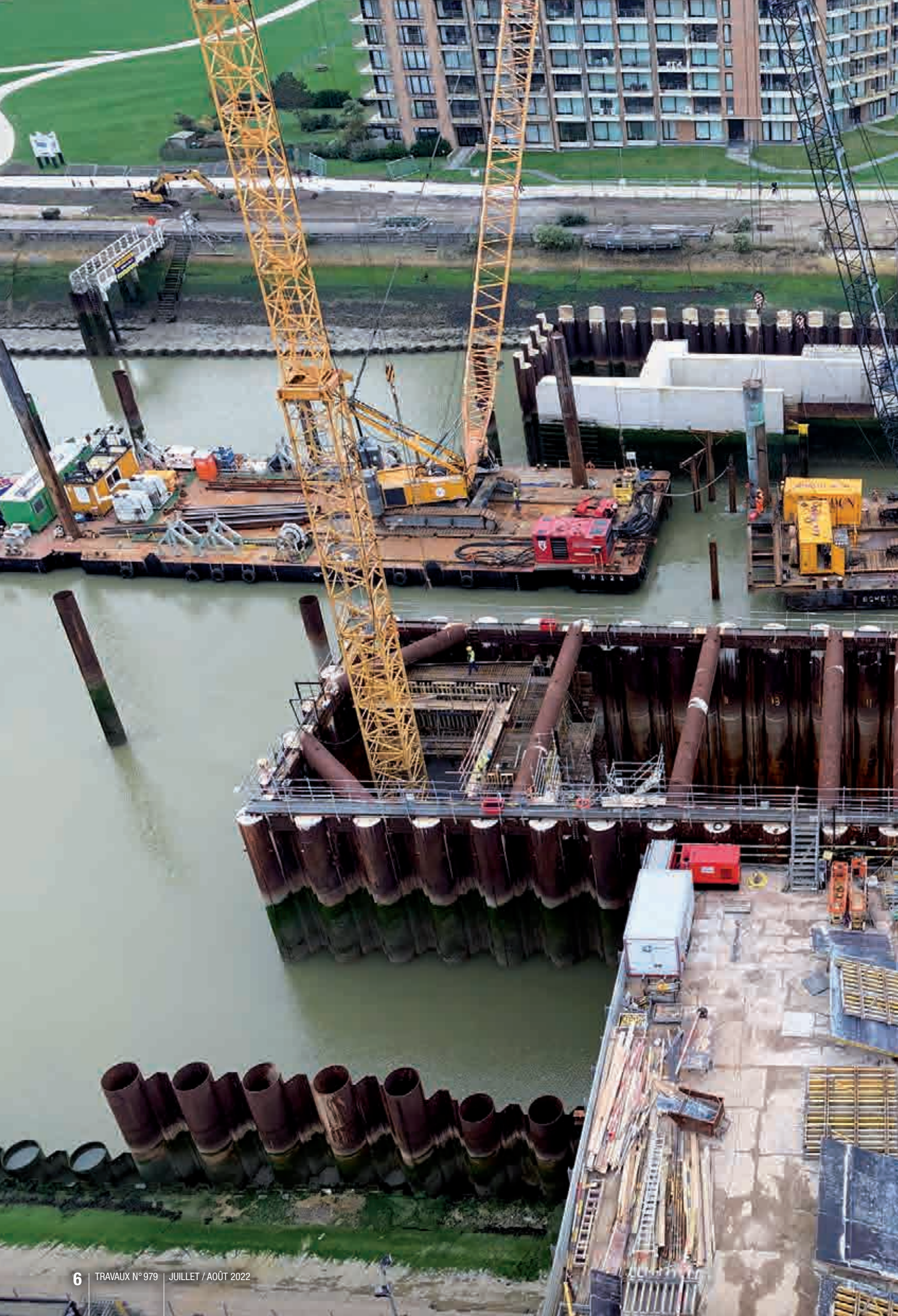
Le nouveau bassin est dimensionné pour des navires de 225 m avec un tirant d'eau de 14,5 m. La mise en œuvre de carapace en Accropode™ II est contrôlée sur un jumeau numérique.

(Voir article page 90).



© BOUYGUES TP

© BOUYGUES TP

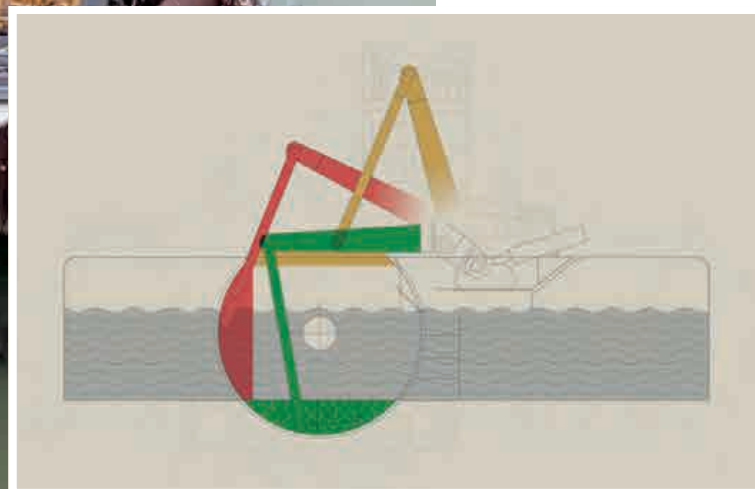


EMBOUCHURE DE L'YSER, UN BARRAGE CONTRE LA MER DU NORD

Herbosch-Kiere (Eiffage)

construit avec Jan De Nul Group un barrage anti-tempête dans le chenal du port de Nieuport, en Belgique, à l'embouchure de l'Yser. Le barrage en acier pivotant protégera la ville et l'arrière-pays contre les ondes de tempête violentes en risque millénal.

(Voir article page 60).



© DÉPARTEMENT MOBILITÉ ET TRAVAUX PUBLICS,
L'AGENCE DES SERVICES MARITIMES ET CÔTIERS (SMC)

LE PROJET MAGEO RECONNU D'UTILITÉ PUBLIQUE

Pour accueillir des bateaux transportant jusqu'à 4 400 tonnes de marchandises, la rivière de l'Oise va être transformée. Le projet Mageo, qui doit permettre d'améliorer le fret en direction du nord de l'Europe, à l'échéance de 2030, vient d'être déclarée d'utilité publique.



L'Oise va être approfondie pour accueillir des bateaux de plus fort tonnage.

Après 20 ans d'études, le projet de Mise au gabarit européen de l'Oise (Mageo), entrera dans sa phase chantier, en 2024 pour une durée de 4 à 5 ans. Voies navigables de France (VNF) qui assure la maîtrise d'ouvrage cette liaison fluviale, a été déclarée d'utilité publique par la préfecture de l'Oise, le 22 avril 2022.

Ce programme ambitieux consiste à aménager la rivière de l'Oise entre Compiègne et Creil, afin qu'elle puisse accueillir des bateaux de plus fort tonnage (185 m de longueur, 11,40 m de largeur et transportant jusqu'à 4 400 tonnes de marchan-

dises). Mageo fait partie d'un projet global de liaison au gabarit européen, destiné à relier le bassin de la Seine à celui de l'Escaut. L'objectif est de décongestionner le transport de fret par la route, entre Le Havre, Rouen, Paris, Dunkerque et le nord de l'Europe. La consommation d'énergie dans le fret fluvial est d'autant plus faible que les volumes transportés seront importants.

Le coût du projet Mageo est de 298 M€. Il devrait bénéficier du financement des autorités européennes à hauteur de 40,5%. Les autres financeurs seraient l'État, via VNF (33,5%), et les collectivités

territoriales soit les Régions Hauts-de-France et Île-de-France (26%).

→ 43 bateaux par jour

Une étude réalisée par VNF met en évidence que plus de 35 000 camions par an seront évités en 2030 grâce à la mise en service de la liaison Seine-Escaut. En 2030, ce nouvel aménagement fluvial, en ouvrant la navigation à des plus grands bateaux, permettra le transport de 13,7 millions de tonnes par an, soit en moyenne 43 bateaux par jour (contre 25 bateaux en 2014). Pour être conforme aux prévisions, le chenal de l'Oise doit être approfondi par dragage afin de

porter le mouillage à 4 m, contre 3 m aujourd'hui.

La largeur du futur chenal de navigation sera comprise entre 36,2 m et 42 m selon le profil des berges. Pour améliorer les conditions de navigation, le tracé actuel du cours d'eau sera modifié. Les berges devront être rescindées et protégées sur 30 km, dans certains secteurs. Le système de protection par génie végétal sera privilégié. Il s'agit d'utiliser des végétaux pour stabiliser les sols par différentes techniques : pieux vivant, tres-sages, caissons végétalisés, boutures, plantations...

Une amélioration des cheminements piétons le long des berges, mais aussi des aménagements permettant la pêche ou une mise en valeur pédagogique, faunistique et floristique sont prévus. Même si les berges vont rester identiques à 70%.

→ Pas de rehaussement des ponts

L'approfondissement de l'Oise permettra aussi de diminuer les risques d'inondation, en amont de Creil. En aval, pour écarter tout risque d'impact hydraulique, un site d'écrêtement des crues au niveau de la commune de Verneuil-en-Halatte sera réalisé. Il permettra de stocker un volume d'eau en cas de crue pour le restituer à l'Oise lorsque la décrue sera amorcée. Ce site doit stocker de l'ordre de 3,5 millions de m³ d'eau pour une crue centennale.

Le changement de gabarit des bateaux ne nécessitera pas un rehaussement des ponts et autres ouvrages d'art. Le test concernant le pont Louis XV (anciennement Solférino) de Compiègne, le plus contraignant de l'itinéraire, s'est avéré positif. ■

DERNIÈRE ÉTAPE DE RÉNOVATION POUR LE PONT-CANAL DE BRIARE

Depuis sa mise en service, en 1896, le pont-canal de Briare (Loiret) n'a jamais connu de travaux de rénovation importants, exceptée bien sûr sa reconstruction après sa destruction en juin 1940. L'ouvrage d'art de 662 m pour une largeur de 11 m, qui enjambe la Loire et relie la Seine et la Saône, est doté de pilastres ornés et de lampadaires de style fin XIX^e siècle.

Cet été 2022, il entre dans sa dernière phase de rénovation, entamée en 2017. Le chantier est porté par les Voies navigables de France (VNF). Le revêtement

définitif a été posé au mois de juin dernier. Pour redonner au pont-canal son cachet historique, le sol choisi est un enrobé sable de couleur claire. Il est semblable à celui des allées du château de Chambord. Le chantier est mené en accord avec les Architectes des bâtiments de France et la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC 45).

→ Ampoules LED

Une première partie des globes des lampadaires ont été réinstallés après avoir été rénovés à l'atelier de l'entreprise Ragni à Cagnes-sur-Mer. La seconde

rangée est en cours de modernisation, les luminaires sont désormais équipés d'ampoules LED conformes aux normes environnementales. Cette dernière phase du chantier aura coûté 2,3 millions d'euros pour un montant global de la rénovation du pont canal de 4,5 millions d'euros. Cette opération est à la fois financée par VNF et par le mécénat avec le soutien de la Fondation du patrimoine.

Ce site attire plus de 300 000 visiteurs annuels venant du monde entier, ainsi que 33 000 vélos empruntant sa rive gauche. Le pont-canal est classé. ■



Les berges du pont-canal disposent désormais d'un enrobé sable de couleur claire.

LES RÉSEAUX D'INFRASTRUCTURES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : ATTENTION DANGER !



Mur à arcatures en travaux, après la tempête Alex dans la Vallée de la Roya, le 3 octobre 2020.

Les voyants sont au rouge. France Stratégie, organisme de prospective rattaché à Matignon, pointe la vulnérabilité des infrastructures de réseaux d'électricité, de transports routier et ferroviaire et de télécommunications, dans un contexte de dérèglement climatique. « *La hausse des températures moyennes et l'intensification des canicules représentent ainsi des risques pour les équipements actifs des réseaux de télécommunications. Les évolutions incertaines des régimes des vents violents et tempêtes auront, quant à elles, des conséquences sur les lignes électriques ou de télécommunications* » notent les rédacteurs du rapport, intitulé "Risques climatiques, réseaux et interdépendances : le temps d'agir", publié en mai 2022.

Le maître-mot de ce travail d'experts qui, au-delà de constats alarmants, dressent des pistes d'actions, est "interdépen-

dance" des réseaux. En effet, leur interconnexion entraîne des dommages en cascade, en cas d'événements météorologiques liés au changement climatique.

→ Posture anticipative

La vulnérabilité des réseaux est particulièrement préoccupante en cas d'accident climatique. Des surcoûts importants sont à prévoir. Le coût d'une crue de la Seine est estimé à 30 milliards d'euros de dommages directs et jusqu'à 58 milliards d'euros au total en raison de l'arrêt complet ou partiel des activités et de la propagation des impacts. Les experts prônent une posture anticipative et non curative de la part des différentes parties prenantes, qui devront prendre en compte cette interdépendance des réseaux. « *Un opérateur ayant scrupuleusement adapté ses infrastructures au climat futur restera vulnérable si les réseaux dont il dépend n'ont pas adopté*

une stratégie d'adaptation suffisante » déplorent-ils.

Des pistes d'action sont évoquées pour dépasser les difficultés. L'organisation d'exercices de gestion de crise climatique avec tous les opérateurs peut permettre de renforcer leurs connaissances. Il faut aussi une meilleure prise en compte de leurs impacts socioéconomiques et pas seulement physiques. L'État pourrait jouer un rôle décisif et mettre en place un espace de dialogue entre tous les acteurs développant une vision nationale des enjeux, sans oublier une vision territoriale. « *À l'échelle locale, le sujet paraît plus facilement délimitable qu'à l'échelle nationale et les gestionnaires de réseaux présents dans les territoires sont susceptibles de disposer de connaissances fines des vulnérabilités* » considèrent les rédacteurs. ■



Reconstruction du réseau ferroviaire, ici la gare de Saint-Dalmas-de-Tende, Vallée de la Roya.

AMÉLIORER L'ÉTAT DES ROUTES

La France est passée à la 18^e position au niveau des infrastructures routières dans le monde.

Selon un rapport de la Cour des comptes, paru en mars 2022, l'état des routes nationales non concédées, ainsi que des voies intercommunales et départementales est alarmant. 25 000 ponts sont jugés dangereux auxquels il faut ajouter des routes où les nids de poules sont légion. L'État n'entretient que 1,1% du réseau routier estimé à 1,1 million de kilomètres, 380 000 km sont sous la

responsabilité des départements, 700 000 km pour les communes et intercommunalités. Pour la Cour des comptes, ce manque d'entretien est dû aux contraintes budgétaires des collectivités.

→ Transfert de compétence

Pour mettre en place une réelle politique de sécurité routière, celles-ci doivent avoir une connaissance pointue de leur réseau en faisant des investigations ponctuelles (carottages, recherche amiante et hydrocarbures aromatiques cycliques dans les enrobés).

Des interventions palliatives ou curatives mais aussi la généralisation d'outils numériques, de relevés semi-automatisés comme ceux proposés par le Cerema, peuvent améliorer l'état des infrastructures routières. Pour une meilleure qualité des routes nationales de leur territoire, en particulier la RN19, les départements de la Haute-Marne, de la Haute-Saône et du Territoire de Belfort s'allient pour en prendre la compétence. Cette demande de transfert est une première en France. ■

CYCLE UP LÈVE PLUS DE 4 M€

À la fois plateforme numérique et offre de logistique, l'entreprise Cycle Up créée en 2018 par Icade et Egis, travaille à développer le réemploi et l'économie circulaire pour les professionnels de la construction et des infrastructures. Elle a récemment ouvert son capital à la Banque des Territoires pour le compte de l'État, à Acorus, spécialiste de la rénovation d'actifs immobiliers et à l'assureur SMA. Cycle Up a ainsi levé plus de 4 M€. Cette augmentation du capital va permettre à cet acteur de l'économie circulaire, qui travaille avec 1 500 entreprises, d'élargir sa gamme de service en direction de chantiers plus grands et de développer plus encore la plateforme digitale de matériaux de réemploi. L'objectif est aussi de massifier les flux de réemploi notamment avec d'autres plateformes dans une logique d'interconnexion. La digitalisation de ce secteur est une des conditions du développement de celui-ci. « Avec cet investissement de 2 M€ dans Cycle Up, nous permettons aux déchets des uns de devenir la matière première des autres, tout en garantissant la traçabilité et la qualité de ces produits via une place de marché dédiée (...). Cela favorise le passage à l'échelle de solutions techniques innovantes tout en réduisant l'empreinte carbone du secteur du bâtiment » a indiqué Gabriel Giabicani, directeur de l'innovation de la Banque des Territoires.



Face aux enjeux de traitement des déchets dans le bâtiment et les travaux publics, Cycle Up recycle les matériaux.

PARTENARIAT HAUTS-DE-SEINE / ONF

Le département des Hauts-de-Seine souhaite à la fois mieux protéger ses forêts domaniales (Meudon, Verrières, Fausse-Reposes et Malmaison) et améliorer les itinéraires de promenade et de randonnée ainsi que l'accueil du public. Pour cela, la collectivité a signé un partenariat avec l'Office national des forêts (ONF). Cette convention prévoit un investissement de 175 000 € pour l'entretien des chemins forestiers et de 300 000 € par an pour la rénovation ou la création de nouveaux équipements, soit près de 2,4 M€ sur ces cinq prochaines années. Ces forêts attirent des millions de visiteurs chaque année.



La forêt domaniale de Meudon.

5 COLLECTIVITÉS EXPÉRIMENTENT UN LOGICIEL DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE



Le logiciel PowerDIS simule et scénarise les besoins énergétiques à l'échelle d'un quartier.

UNE NOUVELLE PLAQUETTE "TRAVAUX À PROXIMITÉ DES RÉSEAUX"

Pour les réseaux d'éclairage public, de communication et de distribution électrique, le Serce et la FNCCR ont actualisé la plaquette "Travaux à proximité des réseaux". S'adressant aux syndicats départementaux d'énergie, aux collectivités locales et aux entreprises de travaux, ce document précise, à l'aide d'infographies, les rôles et responsabilités de chaque intervenant, au cours des 9 étapes d'un projet. On y trouve également une synthèse des questions les plus fréquentes. L'objectif est d'améliorer la sécurité lors de travaux à proximité des réseaux. Chaque année en France, plus de 16 000 réseaux souterrains ou aériens sont endommagés à l'occasion de travaux.

Le logiciel PowerDIS, développé par le centre de recherche et développement Efficacity et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) permet de simuler finement les besoins énergétiques à l'échelle d'un quartier. Après le calcul des consommations énergétiques, cet outil numérique scénarise les différentes stratégies en cas d'opérations de construction ou rénovation des bâtiments mais aussi de projet d'aménagement avant la phase de conception.

→ Performance des réseaux chaleur et froid

Ce logiciel est une aide à la prise de décision pour les collectivités locales sur le choix des systèmes énergétiques. Il prend en compte tous les vecteurs énergétiques (électricité, chaud/froid et gaz) et permet de comparer différents scénarios avec une production énergétique centralisée, décentralisée, ou mixte. PowerDIS est appelé à se développer, dans les collectivités locales, dans le cadre d'études de faisabilité et de schémas directeurs de réseaux thermiques. « À terme, tous les projets de réseau chaud-froid pour limiter les consommations d'énergie et les émissions carbone

devront avoir recours à ce type de logiciel » explique Nicolas Hastir, en charge de PowerDIS au sein d'Efficacity. En effet, la performance de ces infrastructures est une composante de la transition énergétique des villes, s'inscrivant dans la Stratégie nationale bas carbone.

Pour que les collectivités s'emparent de ce sujet, Efficacity et la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) ont lancé un Appel à manifestation d'intérêt (AMI) et récompensé cinq communes et intercommunalités. C'est une façon de tester grandeur nature les atouts et les difficultés de ce logiciel, avec des projets de différentes échelles.

→ Analyses détaillées

Nîmes va tester ce dispositif pour une extension de son réseau, la communauté urbaine du Grand Poitiers concentrera l'expérimentation sur la ville centre. Lons-Le-Saunier, dans le Jura, vise par ce biais le développement du réseau actuel sur plusieurs quartiers et la ville d'Amiens va ainsi entreprendre une étude pour le développement d'un réseau de chaleur sur une zone industrielle. Le syndicat mixte d'énergie des Hautes-Alpes

(Syme 05) est lauréat pour le réseau d'une petite ville de montagne de 1 000 habitants, Saint-Jean-Saint-Nicolas. « Nous souhaitons étudier avec le logiciel, la possibilité d'étendre le réseau de chaleur existant en testant l'impact du raccordement de l'école primaire et maternelle située à la sortie du village mais aussi un ensemble de logements neufs qui va être construit dans un futur proche. Si cette extension ne semble pas possible, la création d'un nouveau réseau de chaleur sera étudiée » explique Jean-Christophe Dejoannis, ingénieur au sein de ce syndicat.

Les collectivités seront accompagnées grâce à des analyses détaillées réalisées par Efficacity et le CSTB avec l'appui de bureaux d'études spécialisés. Ce soutien est subventionné à 50% dans le cadre d'une collaboration de recherche & développement entre la collectivité et Efficacity. « Chaque collectivité a un coût d'étude différent qui s'échelonne entre 20 000 € et 50 000 € » précise le chef de projet. La FNCCR réalisera le suivi de ces opérations pour ensuite communiquer les bonnes pratiques auprès de ses adhérents. ■

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

OUVRAGES D'ART

964

SOLS ET FONDATIONS

965

SPÉCIAL GARES

966

ÉNERGIE

967

VILLE ET PATRIMOINE

968

TRAVAUX SOUTERRAINS

969

INTERNATIONAL

970

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

971

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

ÉNERGIE

975

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

976

TRAVAUX SOUTERRAINS

977

INTERNATIONAL

978

*Offre valable jusqu'au 31/12/22

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 964 x | <input type="checkbox"/> 969 x | <input type="checkbox"/> 974 x |
| <input type="checkbox"/> 965 x | <input type="checkbox"/> 970 x | <input type="checkbox"/> 975 x |
| <input type="checkbox"/> 966 x | <input type="checkbox"/> 971 x | <input type="checkbox"/> 976 x |
| <input type="checkbox"/> 967 x | <input type="checkbox"/> 972 x | <input type="checkbox"/> 977 x |
| <input type="checkbox"/> 968 x | <input type="checkbox"/> 973 x | <input type="checkbox"/> 978 x |

Soit un montant total de :
_____ numéros x 15 € = _____ €

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

100% satisfait jusqu'au 31/12/22 et hors frais porteur (exemple pour l'Allemagne) : 5,00€ d'impôt France, 10,00€ d'impôt Europe et 12,50€ d'impôt étranger hors Europe). Conformément à la Loi « Informatique et Libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concerne les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes tiers. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case []

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal () () () () () Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

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

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

PRODUCTION LOCALE DE BIOMÉTHANE

Les entreprises Veolia et Waga Energy ont annoncé le démarrage de la plus importante unité de production française de biométhane, un gaz 100% renouvelable. Situé à Claye-Souilly (Seine-et-Marne) sur le site industriel de Veolia, cette usine entièrement automatisée et pilotée à distance, récupère et traite le biogaz des déchets enfouis, pour le transformer en biométhane. Basée sur une technologie développée par Waga Energy, ce gaz sera ensuite injecté directement dans le réseau exploité par GRDF, pour alimenter les particuliers et les entreprises de la région. Les acteurs du projet tablent sur une production 120 GWh de gaz par an, soit l'équivalent de la consommation annuelle moyenne de 20 000 foyers.



L'unité de production de Claye-Souilly fait partie des 4 projets développés par Veolia et Waga Energy.

© VEOLIA

VINCI HIGHWAYS ACQUIÈRE 100% DE TOLLPLUS INC

Vinci Highways ne détenait que 30% que l'entreprise TollPlus Inc. spécialisée dans les systèmes de gestion des péages autoroutiers. Elle a annoncé en avril 2022, l'acquisition totale de cette société américaine. La filiale de Vinci Concessions va ainsi continuer son développement sur le marché des infrastructures autoroutière en flux libre aux États-Unis et plus particulièrement au Texas et en Californie, en Irlande et en Inde. L'objectif est de fluidifier les trafics grâce à des solutions de péage intelligent.

LE CHANTIER DU GRAND PARIS EXPRESS ENTRE ATTRIBUTION DE MARCHÉ ET PERCEMENTS RÉALISÉS



Perspective de la Gare du Parc des expositions, entièrement en ossature métallique.

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / DIETMAR FEICHTINGER ARCHITECTES

Le Grand Paris Express (GPE) continue son déploiement avec de nouveaux marchés attribués, mais aussi avec le percement de tronçons qui vont peu à peu configurer les différentes lignes (Ligne 14 prolongée, Lignes 15, 16, 17 et 18) du GPE. Pour rappel, ce nouveau moyen de transport automatique de 200 km de long desservant 68 gares sera mis en service par étapes entre 2025 et 2030.

→ 350 personnes pendant 8 ans

Spie batignolles génie civil, mandataire du groupement formé avec Spie batignolles Valérien et Ferroviol ont récemment remporté le marché de génie civil de la partie souterraine Ouest de la Ligne 18. Celle-ci reliera l'aéroport d'Orly à Versailles Chantiers en seulement 30 minutes et desservira 10 gares. Le contrat de 438 M€ porte sur les travaux de creusement de 6,7 km de tunnel entre la gare de Saint-Quentin Est et Versailles-Chantiers, du génie civil de trois gares et de huit ouvrages de service. Il mobilisera 350 personnes pendant plus de 8 ans. Spie batignolles génie civil utilise un tunnelier à densité variable, notamment pour la partie fragilisée par les sables de Fontainebleau. Les structures des gares seront réalisées dans des

fouilles talutées ou en parois moulées en fonction de leur profondeur. Sur les huit ouvrages annexes, quatre puits seront forés dans de grandes profondeurs allant de 50 à 62 m du fait du relief accidenté de la vallée de la Bièvre. La société de génie civil est déjà engagée sur d'autres chantiers du GPE sur les Lignes 14, 15 et 18. « Ce nouveau contrat représente à ce jour notre plus gros marché en tant que mandataire sur le Grand Paris Express et marque un peu plus notre présence significative au cœur de ce programme majeur » a indiqué Benoît Moncade, directeur général de Spie batignolles génie civil.

→ Construction de trois viaducs

Autre marché attribué, la réalisation de 5 km de section aérienne entre les communes de Gonesse et Tremblay en France, sur la Ligne 17 qui va relier Saint-Denis Pleyel au Mesnil-Amelot en moins de vingt-cinq minutes. Le groupement, dont NGE est le mandataire, va ainsi bâtir trois viaducs ainsi que la première gare aérienne du GPE, située au Parc des Expositions. En effet, le contrat prévoit la construction d'un ouvrage métallique de 3 km de long ainsi que deux autres de moindre ampleur. Un viaduc de franchissement autoroutier au-

dessus de l'A1/A3 de 200 m de long et un autre au-dessus de la départementale RD40 Sud 145 m de long.

Ce chantier va ainsi mobiliser plusieurs métiers du groupe NGE : le génie civil, le terrassement et les aménagements paysagers (Guintoli Grands Projets), les fondations (NGE fontations) et le bâtiment (NGE bâtiment). C'est cette entité qui aura la charge de réaliser la construction de la gare aérienne "Parc des Expositions". Conçu par le cabinet d'architecture Dietmar Feichtinger Architectes, l'ossature du bâtiment est entièrement métallique. La fin des travaux interviendra en 2029.

Sur la Ligne 16 qui traverse le département de la Seine-Saint-Denis entre Noisy-Champs et Saint-Denis-Pleyel, le premier percement du tunnelier "Mireille" à l'emplacement de la future gare Clichy-Montfermeil est effectif. Réalisé par le groupe italien Webuild associé à NGE, ce tronçon de 2,2 km a été inauguré en avril 2022. Le tunnelier doit ensuite creuser 3,1 km supplémentaires, traversant les communes de Livry-Gargan et de Sevran. Le groupement réalise 11 km de tunnels pour la Ligne 16 ainsi que quatre gares entre Aulnay-sous-Bois et Chelles. ■



setec

L'ingénierie géotechnique
à forte valeur ajoutée

www.terrasol.com



INGÉNIERIE
FORMATIONS
LOGICIELS

» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise
Développement, Assistance technique «

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

Parmi nos références récentes en France : Grand Paris Express, Eole, Quais Joannès Couvert et Hermann du Pasquier au Havre, Quai Bassin aux Bois à Rouen, Canal Seine Nord Europe, Projet Lyon Part-Dieu, Liaison ferroviaire Lyon-Turin, Port de Nouméa, Port de Longoni à Mayotte, Projet Cigéo à Bure, Digue de la Pallière, Galerie de la Sarenne...

Et à l'international : Ligne à Grande Vitesse HS2 (UK), Lagune de Cocody à Abidjan (Côte d'Ivoire), Tanger Med 2 (Maroc), EPR Hinkley Point et Sizewell (UK), Barrage Singrobo (Côte d'Ivoire), Tour Mohamed VI (Maroc), TER de Dakar (Sénégal)...

	<p>Paris</p> <p>Tél : +33 (0)1 82 51 52 00 Fax : +33 (0)1 82 51 52 99 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Lyon</p> <p>Tél : +33 (0)4 27 85 49 35 Fax : +33 (0)4 27 85 49 38 Email : terrasol@setec.com</p>	<p>Maroc</p> <p>Tél : +212 (561) 16 20 78 Fax : +212 (537) 77 48 41 Email : ahmed.skalisenhaji@setec.com</p>	<p>Tunisie</p> <p>Tél : +276 71 23 83 14 Fax : +256 71 75 32 88 Email : info@terrasol.com.tn</p>
---	---	--	---	---

MALGRÉ UNE PÉRIODE TROUBLÉE, ALKERN CONTINUE SON DÉVELOPPEMENT



Un site de production de béton préfabriqué.

Alkern, fabricant de produits préfabriqués en béton, annonce une progression de 11% avec un chiffre d'affaires de 247 millions d'euros en 2021. Son activité concerne le bâtiment, l'aménagement extérieur et les travaux publics. Sur ce dernier secteur, l'entreprise enregistre une baisse de 10% par rapport à l'année de référence "hors Covid" 2019. Xavier Janin, son président souhaite mettre en avant, pour ce bilan, la mise en place d'outils d'optimisation administratifs, financiers et numériques. Alkern qui compte 1 000 collaborateurs sur 55 sites de production dont 2 en Belgique, a acquis en 2021 la société Become spé-

cialisée dans les regards, bouches d'égouttement et massifs multifonction pour les travaux publics et le drainage agricole. Cela renforce ainsi son activité travaux publics et aménagement urbain.

→ Produit 100% local

Pourtant, la société s'interroge sur l'impact de la guerre en Ukraine et de l'importante inflation des matières premières et des coûts de l'énergie sur ses marchés à venir. « Dans cette période troublée, la chance du béton préfabriqué est d'être un produit à 100% localement (matières premières locales, clients locaux, main-d'œuvre locale), ne nécessitant aucun combustible avec une production peu

consommatrice d'électricité, permettant ainsi de continuer à servir ses marchés sans pénurie » considère Xavier Janin. Dans le cadre de la réglementation environnementale RE2020, qui s'applique depuis janvier 2022, l'industriel s'engage sur les enjeux de perméabilité des sols avec le développement de sa "gamme O", de revêtements drainants. Ainsi Alkern en propose cinq types, dont un pavé à base de coquilles Saint-Jacques broyées, utilisées pour des projets d'aménagement d'espaces publics. 123 826 m² ont été ainsi aménagés avec ces revêtements, une solution dans la lutte contre les îlots de chaleurs en ville. Autre initiative en faveur de l'environnement, l'installation, en partenariat avec Engie Green, d'ombrières photovoltaïques sur une surface d'environ 150 000 m², disposées sur les structures de stockage du béton, dans les différents sites de l'entreprise. Les prévisions de production électrique sont de 35 000 MWh/an, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle de 15 000 personnes. ■

DIFFICILES DÉBUTS POUR LE TÉLÉPHÉRIQUE TOULOUSE

Depuis le 14 mai dernier, les Toulousains peuvent survoler le sud de leur territoire, grâce à Téléo, le plus long téléphérique urbain de France.

Comprenant 15 cabines, il parcourt 3 km et relie en 10 minutes contre 40 en voiture, l'Oncopole (Institut universitaire du cancer de Toulouse) à l'Université Paul-Sabatier (30 000 étudiants), avec un arrêt à l'hôpital Ranguel (200 000 consultations par an). Ce téléphérique a été construit par l'entreprise Poma, spécialiste du transport par câble. Selon les prévisions, il devrait transporter 8 000 personnes par jour. Mais ces débuts difficiles avec des arrêts de fonctionnement et un surcoût de 12,5% sur le montant global initial de 82,4 millions.



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité



PORT DU FUTUR
Hub d'innovations



Cerema
Service à l'écologie et à la sécurité des citoyens

Un événement à vivre à Lorient
au Palais des Congrès
en 2 jours-conférence
les 4 & 5 octobre

12^{es} Assises Port du futur, l'événement qui rassemble tous les acteurs du portuaire

PORT DU FUTUR CE SONT :

- des tables rondes ;
- les Trophées de l'innovation ;
- des temps de rencontre.



Toutes les informations détaillées sur le site

www.portdufutur.fr

Les tables rondes :

<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 1</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">INDUSTRIE ET SUPPLY CHAIN - LES NOUVEAUX COMPORTEMENTS CONTRAINTS PAR LA CRISE</p>	<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 5</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">LA SYNERGIE DANS LES ZONES PORTUAIRE ET AU-DELÀ. LE DÉBUT D'UN PHÉNOMÈNE ?</p>
<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 2</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">DÉCLIN DES TRAFICS ET ACTIVITÉS INDUSTRIELLES D'ÉNERGIE FOSSILES/ CARBONÉES, QUELS RELAIS DE CROISSANCE POUR LES PORTS ?</p>	<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 6</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">ÉOLIENNES OFF-SHORE, VENTS FAVORABLES POUR LES PORTS FRANÇAIS ?</p>
<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 3</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">L'INNOVATION PORTUAIRE FRANÇAISE SOUS LA LUMIÈRE DES PÔLES MERS.</p>	<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 7</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">LES CHANTIERS NAVALS FRANÇAIS DANS LA COURSE À LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE.</p>
<p style="text-align: center; color: #0056b3; font-weight: bold;">n° 4</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">QUELLES DONNÉES POUR QUELLES STRATÉGIES PORTUAIRES ?</p>	












Partenaires édition 2022

Avec le soutien de

SPIE RECRUTE 3600 COLLABORATEURS DONT 600 ALTERNANTS

Le groupe Spie entame une campagne de recrutement de poste en CDI à temps-plein dans toutes les régions de France. Tous les niveaux d'études sont ciblés, du bac professionnel au diplôme d'ingénieur en passant par les licences professionnelles et les BTS : technicien de maintenance, ingénieur efficacité énergétique, électricien courant faible et fort, ingénieur télécoms, ingénieur réseaux, monteur, conducteur de travaux, raccordeur de fibre optique, ingénieur et technicien smart city, cybersécurité, data centers...

Au total 3 600 postes sont à pourvoir ainsi que 600 alternants.

DEUX CONTRATS POUR EIFFAGE DANS DES PARCS ÉOLIENS ALLEMANDS, EN MER DU NORD

À travers sa filiale belge Smulders, Eiffage a remporté deux contrats dans le secteur de l'éolien offshore au large de l'Allemagne. Ørsted, leader danois dans ce type de production d'énergie renouvelable, a désigné Smulders pour la fabrication de structures secondaires en acier des fondations mono-pieux pour deux parcs d'éoliennes en mer. Le marché porte sur 23 éoliennes et sur la sous-station offshore Gode Wind 3, situé au nord-est de l'île de Norderney, dans la partie germanique de la mer du Nord.

→ 1,2 million de foyers allemands

Smulders sera aussi en charge des fondations des 83 éoliennes du parc offshore Borkum Riffgrund 3. Celui-ci est situé à 45 km au large de l'île de Borkum, à proximité des Pays-bas. La filiale belge d'Eiffage fournira les structures d'accostage, les échelles extérieures, les plateformes internes suspendues et les cages d'anode servant à la



Structures acier pour des mono-pieux d'éoliennes en mer.

protection contre la corrosion. La production de ces équipements dans l'usine de Pologne de Smulders s'échelonna de mai 2022 jusqu'au premier trimestre

2023. Une fois achevés, ces parcs éoliens produiront chaque année l'équivalent de la consommation d'environ 1,2 million de foyers en Allemagne. ■

UN RÉSEAU DE CHALEUR INTELLIGENT SUR LE SITE PARIS-SACLAY



© EPA PARIS-SACLAY

Le réseau de chaleur intelligent va concerner, à terme, 1 000 logements étudiants.

En 2022 s'achèvera le test grandeur nature du réseau d'échange de chaleur et de froid (5GDHC) fonctionnant grâce à la géothermie, sur le site du cluster scientifique Paris-Saclay. Ce vaste pôle scientifique et technologique, que l'on a qualifié de Silicon Valley à la française, a été désigné en 2019 comme un des cinq sites pilotes, du projet européen D2Grids (demand-driven grids).

Après la clôture de la partie démonstrative sur une dizaine de logements étudiants, l'objectif est d'élargir le périmètre à plus de 1 000. Le projet D2Grids de Saclay représente un investissement global de 50 millions d'euros. L'énergie déployée sur le campus "4 fois moins

émettrice de CO₂ qu'une solution traditionnelle" sera donc basée à 60% sur du renouvelable produit grâce à des puits géothermiques locaux. Ce projet sobre en énergie et faiblement carboné répond aux objectifs fixés par la COP21.

→ **Expertise du pilotage énergétique**
En parallèle aux réseaux d'énergie, une infrastructure IoT (Internet of Things) sera mise en place pour piloter la demande de chauffage. Ce système, grâce à des capteurs, s'apparente aux moyens déployés dans le cadre d'une smart city. Pour mener à bien cet objectif et répondre aux différents enjeux techniques, l'EPA.

Paris-Saclay, aménageur du cluster scientifique, a fait appel à Naldeo Tech-

nologies et Industries (groupe Naldeo). « Ils ont une expertise des réseaux de chaleur et des systèmes de pilotage énergétique avancés, et l'un de leurs sites est situé à Orsay au cœur du cluster Paris-Saclay. Ils nous ont ainsi prouvé qu'ils connaissent bien les spécificités du secteur et ses acteurs » explique Mawya Rahal, cheffe de projet énergie au sein de l'EPA.

L'entreprise qui compte 80 ingénieurs a intégré au projet les étudiants de Centrale Supélec, installés sur le campus, à travers leurs associations comme Impact Centrale Supélec ou Viarezo spécialisée dans les technologies informatiques. ■

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR UN MEILLEUR RÉSEAU D'EAU

Le constat est sans appel. Au niveau national, 25% de l'eau potable est perdue pendant son transport et ne parviendra jamais à son consommateur. Optimiser les réseaux d'exploitation est donc un enjeu majeur pour les collectivités. Ainsi Nevers Agglomération (Nièvre), qui comprend 13 communes et compte 65 700 habitants, a signé un partenariat avec l'entreprise Lacroix, tournée vers l'expérimentation de l'intelligence artificielle appliquée aux réseaux d'eau. L'équipementier technologique intervenait déjà depuis 2014 sur ce territoire, assu-

rant la surveillance et la télégestion de ses 360 km de réseaux d'eau.

→ **Réagir en temps réel**

Mais aujourd'hui, grâce à l'intelligence artificielle, la collectivité souhaite anticiper les incidents possibles sur le réseau afin de déployer des interventions préventives et garantir le bon fonctionnement du système d'exploitation. « Notre objectif, en investissant dans les technologies de haute performance, est d'assurer un service efficace et fiable aux citoyens dans le but d'améliorer leur vie quotidienne » a déclaré Denis Thuriot, président de

Nevers Agglomération. Cartographier les données stratégiques des collectivités est une première étape mais, pour anticiper les usages, le système d'intelligence artificielle doit réduire le temps d'analyse des données afin que les opérateurs puissent ainsi mieux prévenir un dysfonctionnement.

Les équipes du réseau d'eau seront ainsi capables de réagir en temps réel face à une anomalie mais aussi de limiter préventivement toute casse technique, lourde de conséquences fonctionnelles et financières. ■

DICTIONNAIRE DE DONNÉES BÉTON

Face au développement des process numériques dans la construction, trouver un langage commun entre les parties prenantes, est une nécessité pour décrire les ouvrages, les systèmes et les composants dans les maquettes numériques. Porté par la Fédération de l'industrie du béton (FIB) et le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton (Cerib), un dictionnaire de données vient ainsi d'être publié.

Il permet une meilleure compréhension de l'impact du numérique et du Bim sur la filière industrielle de la construction et sur les systèmes de préfabriqués en béton. Le document a pour objectif de qualifier les objets utilisés dans des maquettes numériques. Il est illustré par les retours d'expérience des travaux menés dans l'industrie du béton.

Les travaux préalables à ce dictionnaire de données ne faisaient pas de distinction entre les objets et les modèles d'objets. Ceux initiés par le Cerib et la FIB permettent de distinguer modèles et objets afin que l'ensemble de la filière de la construction puisse plus facilement assimiler la démarche. C'est une vision globale pour que tous les professionnels de la construction puissent partager leur gestion du béton et mutualiser leur utilisation.



© ALI KERN

Le dictionnaire de données marque une évolution des pratiques méthodologiques pour la filière béton.

NAVETTES AUTONOMES EXPÉRIMENTÉES

Deux navettes autonomes vont rouler jusqu'en août 2022, dans une avenue d'une longueur de 1,1 km de Sophia Antipolis (Alpes-Maritimes). Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre d'un partenariat entre 7 entreprises, 2 établissements académiques et 2 collectivités locales.

Ainsi l'Expérimentation navettes autonomes (ENA) réunit (liste non exhaustive) Berthelet, opérateur de transport de voyageurs, Navya, entreprise spécialisée dans les systèmes de mobilité autonome qui a conçu les navettes, Eiffage Energie Systèmes pour l'installation des infrastructures.

L'Université Gustave Eiffel et Sector Group, spécialiste de la sûreté de fonctionnement, ont travaillé à l'élaboration de scénarios susceptibles de mettre la navette en difficulté. Les chercheurs de cette université mais aussi de l'École nationale des travaux publics de l'État et EDF étudient, pendant 5 mois, diverses méthodologies d'enquêtes afin de cerner les besoins des utilisateurs de ce service. L'université travaille aussi sur un système de détection de mouvement en temps réel. Chaque navette dispose d'un agent d'accompagnement à bord. Le projet ENA a un budget de 8 M€, dont 4,6 M€ de subvention, est financé par le Programme d'investissement d'avenir de l'Ademe et labellisé par le cluster Cara, qui accompagne les mutations des systèmes de transport.



Les navettes roulent 7 heures par jour, avec une fréquence de 10 minutes.

DES TECHNIQUES POUR LUTTER CONTRE LES CONSÉQUENCES DE LA SÉCHERESSE SUR LES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES



Une fissure longitudinale sur une route due au phénomène de retrait et gonflement des sols argileux (2021).

Le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA) dû à la sécheresse touche 10,4 millions de maisons individuelles, selon le dernier recensement établi par le ministère de la transition écologique, en juin 2021. Les routes sont aussi durement impactées avec une multiplication des fissures longitudinales et des déformations, constituant un danger pour la sécurité des usagers (voir le rapport de la Cour des comptes, page...). Les conditions météorologiques de sécheresse et de précipitations, mais aussi la nature minéralogique du sol argileux, sont à l'origine de ce processus qui a été étudié par le Cerema. L'établissement public a cherché à comprendre comment se traduisait le RGA mais aussi quelles solutions peuvent être apportées pour contrer ce phénomène.

→ Prise en charge lourde et coûteuse

En étudiant le cycle complet de séchage-humidification sur un sol test, les chercheurs du Cerema ont constaté que « la

succion du sol, pouvant être influencée par les conditions météorologiques et celles de l'environnement proche, est susceptible d'affecter la cinétique du retrait sous l'effet de la sécheresse. » Ils ont aussi observé que le sol subit le phénomène de gonflement en deux phases, par la diffusion de l'eau à partir de ses extrémités mais aussi par l'hydratation progressive des minéraux argileux selon un processus de cinétique lente. L'accentuation des cycles de séchage-humidification intensifie le phénomène de RGA. Les sécheresses plus longues et intenses engendrent une élimination plus profonde de l'humidité nécessitant une prise en charge plus lourde et plus coûteuse en termes de travaux de confortement. Dans une nouvelle projection concernant le coût de l'indemnisation des dégâts de sécheresse, la Fédération française de l'assurance estime « que le montant des sinistres dus aux événe-

ments naturels pourrait atteindre 143 milliards d'euros en cumulé entre 2020 et 2050, soit une augmentation de 93 %, c'est-à-dire 69 milliards d'euros de plus par rapport à la période 1989-2019. »

→ Solution résiliente

Pour le bâti, le Cerema a expérimenté à l'échelle d'une maison test sinistrée, entre 2016 et 2020, une solution innovante nommée Mach, pour un coût total de 15 k€ HT. Cela a consisté à réhydrater le sol de fondation durant la sécheresse par les eaux de pluie, préalablement récupérées et stockées pendant la période humide. C'est une solution résiliente au changement climatique permettant de stabiliser les dommages existants (de faible ampleur) et empêcher la survenance de nouvelles fissures.

Concernant les infrastructures routières, le Cerema, en partenariat avec les départements de la région Centre-Val de Loire, développe de nouvelles solutions de remédiation pour limiter les vulnérabilités des routes. Bilan de cette opération : sur 8 sites expérimentaux, 16 planches d'essais ont été réalisées, 11 solutions de remédiation testées et au total 2,5 km de routes sont confortés. Le Cerema a un contrat de 5 ans avec chacun des six départements (Cher, Eure-et-Loir, Indre, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher, Loiret) pour mener à bien cette étude. ■



Détail, sol argileux.

La CNETP regroupe **8 800 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues auprès de **284 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en œuvre du régime de chômage intérimaire auprès des entrepreneurs de Travaux Publics

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics



Membre du Réseau Congés Intérimaires BTP



NOUS CONTACTER

31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

Entreprises : 01.70.38.07.70

Salariés : 01.70.38.09.00



sur Internet : www.cnetp.fr



sur l'appli mobile : [CNETP Salarié](#)



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique sont maintenus, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).

• 27 ET 28 SEPTEMBRE

Les Assises Nationales de la Qualité de l'Environnement Sonore

Lieu : Paris (Sorbonne Université)
<https://assises.bruit.fr>

• 4 ET 5 OCTOBRE

Assises Port du futur

Lieu : Lorient (Morbihan)
www.portdufutur.fr

• 22 AU 24 NOVEMBRE

Salon des maires

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

FORMATIONS

• 4 AU 7 OCTOBRE

Enrobés à chaud : Formulation, caractéristiques, prescriptions et usages

Lieu : Lyon
<https://formation-continue.enpc.fr/>

• 12 AU 14 OCTOBRE

Concevoir la modélisation des déplacements

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

• 18 AU 20 OCTOBRE

Choisir une technique d'entretien des chaussées

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

• 19 AU 21 OCTOBRE

Les équipements ferroviaires : fonctions, contraintes et mise en œuvre

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

• 9 AU 10 NOVEMBRE

Gérer les déchets de chantier d'infrastructures routières

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

NÉCROLOGIE

Décès de Clément Fayat, fondateur du groupe Fayat, commandeur de la Légion d'honneur, commandeur de l'ordre national du Mérite, survenu le 3 juillet 2022.

NOMINATIONS

SYNDICAT NATIONAL DU POMPAGE DU BÉTON (SNPB)
Dimitri Ficheux a été investi à la présidence du collège de Normandie du SNPB. Hugo Morgado a été réélu à la présidence du collège d'Île-de-France.

SYNDICAT FRANÇAIS DE L'INDUSTRIE CIMENTIÈRE (SFIC)
Trois nouveaux directeurs ont

été nommé au sein du SFIC : Stéphane Herbin, directeur bâtiment, Benjamin Daubilly, directeur génie civil et Cédric Le Gouil, directeur routes et terrassements.

SYNDICAT FRANÇAIS DE L'INDUSTRIE CIMENTIÈRE (SFIC)
Bruno Pillon a été élu à la présidence du SFIC. Il succède à François Petry dont le mandat est arrivé à échéance.

ECO-ORGANISME ECOMIRERO
François Demeure dit Latte a été nommé directeur général et Mathieu Hiblot, directeur technique, innovation et relations institutionnelles.

SUNNA DESIGN
L'entreprise spécialisée dans l'éclairage solaire public et connecté a nommé Thibaud des Déserts, directeur grands projets & exécution et Valentine Djidji, directrice marketing et communication.

CANAL SEINE-NORD EUROPE LE CHAÎNON MANQUANT ÉCO-PERFORMANT

Le Canal Seine-Nord Europe reliera l'Oise au canal Dunkerque-Escaut, de Compiègne à Aubencheul-au-Bac, près de Cambrai. Le projet permettra la réalisation d'un canal à grand gabarit européen Vb, qui permettra d'accueillir des bateaux d'une longueur allant jusqu'à 185 mètres et d'une largeur de 11,40 mètres, pouvant contenir 4400 tonnes de marchandises soit l'équivalent de 220 camions. En 2022, les travaux entrent dans leur phase réellement opérationnelle avec les premiers chantiers de terrassement lourds. Jérôme Dezobry, président du directoire de la Société du Canal Seine-Nord Europe, retrace le parcours d'un projet dont la déclaration d'utilité publique remonte à 2008. **Entretien avec Jérôme Dezobry, président du directoire de la Société du Canal Seine-Nord Europe.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



Quelles sont les grandes caractéristiques du Canal Seine-Nord Europe ?

Le Canal Seine-Nord Europe reliera l'Oise au canal Dunkerque-Escaut, de Compiègne à Aubencheul-au-Bac, près de Cambrai. Il aura une longueur de 107 km entre Compiègne et Aubencheul-au-Bac, une profondeur d'eau de 4,50 m et une largeur en surface de 54 m.

Les travaux comprendront la réalisation du canal au gabarit européen dit "Vb" soit des bateaux de 4400 tonnes, l'équivalent de 220 camions, ainsi que des infrastructures connexes : un bas-

sin réservoir pour l'approvisionnement en eau du canal en période de basses-eaux de l'Oise, 6 écluses, ainsi qu'une écluse permettant la jonction avec le canal du Nord, des quais au niveau des ports intérieurs, des quais de desserte (proches de silos céréaliers ou pour des activités industrielles), des équipements pour la plaisance, 61 rétablissements routiers ou ferroviaires. L'ouvrage traversera 67 communes.

Quel est l'objet de ce nouveau canal ?

L'objet du Canal Seine-Nord Europe est de faire sauter un goulet d'étranglement

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 4 © SCSNE



1- Jérôme Dezobry, président du directoire de la Société du Canal Seine-Nord Europe dans l'Oise.

2- Le canal de l'Oise à hauteur de Pimprez, dans l'Oise.

3- Carte de l'insertion du Canal Seine-Nord Europe dans les "autoroutes fluviales" du nord de la France et de la Belgique.

4- Le port de Saint-Saulve à Bruay-sur-Escout, dans le département du Nord.

5- Visite sur le chantier de Péter Balász, coordinateur européen du corridor Mer du Nord - Méditerranée.

pour créer un réseau à grand gabarit fluvial de transport de fret. Sur le réseau fluvial du nord de la France, il existe déjà le bassin de la Seine, le bassin de l'Oise et le réseau Nord-Pas-de-Calais, tous trois à grand gabarit, connectés au port de Dunkerque et au réseau fluvial belge. Entre ces deux "autoroutes fluviales", il existe le Canal du Nord, inauguré en 1965, dont la conception remonte au 19^e siècle mais dont les deux guerres de 14-18 et 39-45 n'ont pas permis l'achèvement comme prévu à l'origine. Ce Canal du Nord est particulier en raison de son gabarit spécifique - il peut accueillir des péniches jusqu'à

JÉRÔME DEZOBRY : PARCOURS

Suite à ses études d'ingénieur à l'École Centrale de Lille puis à l'École Centrale Paris (Modélisation mécanique des structures 1994), Jérôme Dezobry commence sa carrière chez Gaz de France en recherche, puis en qualité de responsable du service inspection-infrastructures. Il devient ensuite directeur de cabinet du directeur des grandes infrastructures, puis directeur du second stockage de gaz naturel français au sein de Storengy filiale de GDF Suez.

Diplômé de Science Po Paris en 2005, il intègre en 2010 l'Institut National des Etudes Territoriales (INET) à Strasbourg, qui forme les cadres de direction des collectivités territoriales.

Entre 2011 et 2015, Jérôme Dezobry rejoint le Conseil général du Nord comme Directeur général adjoint aménagement durable puis directeur général du développement territorial.

Entre 2015 et 2017, il est responsable, au sein de la direction générale de Voies Navigables de France (VNF) de la préfiguration de la Société du Canal Seine-Nord Europe avant de devenir membre du directoire de la SCSNE en 2017.

Depuis octobre 2018, Jérôme Dezobry est président du directoire de la Société du Canal Seine-Nord Europe.

700 tonnes - ce qui ne lui permet pas d'être compétitif sur tous les trafics et de connecter les réseaux à grand gabarit de la Seine et du nord de l'Europe. Entre les deux "autoroutes" que je viens d'évoquer, l'idée a donc été de transformer la "route départementale" que constitue actuellement le Canal du Nord en "autoroute" afin de faire sauter le goulet d'étranglement qu'il constitue et réaliser un réseau homogène à grand gabarit sur ce que l'on appelle le réseau Seine-Escaut. Il s'agit donc de créer un nouveau canal, sur la quasi-totalité de son tracé.

Très en amont du projet, une réflexion avait été engagée pour agrandir le Canal du Nord. Ce dernier comporte 19 écluses et deux tunnels et date, dans sa conception, des standards de l'époque.

Il s'est avéré que la reconstruction des 19 écluses et l'élargissement des deux tunnels allaient entraîner un coût identique à celui de la création d'un nouvel ouvrage, aux normes techniques et environnementales les plus récentes. Il a donc été décidé de créer un nouveau canal qui va néanmoins, lorsque c'est possible, réutiliser partiellement l'ouvrage existant, moyennant sa rénovation, son élargissement et le renouvellement de son étanchéité.

Le Canal Seine-Nord Europe aura une longueur de 107 km et comportera 7 écluses dont l'une d'elles permettra de connecter le Canal du Nord, là où il existe encore, au Canal Seine-Nord Europe, de manière à réaliser des trafics de l'un à l'autre.

Autre infrastructure importante : l'ouvrage comportera un pont-canal de 1330 m de longueur, afin de franchir à une hauteur de 25 mètres la vallée de la Somme, ainsi qu'un barrage de 14 millions de m³, à Louette, ▷



3 © SCSNE

© DOMINIQUE BOKALO/HAUTS DE FRANCE



4

© SCSNE



5

au nord de Péronne, qui permettra de l'alimenter en eau pendant les périodes les plus sèches.

Le Canal Seine-Nord Europe sera construit pour des barges d'un gabarit jusqu'à 4 400 tonnes, soit de 185 m de longueur et 11,40 m de largeur. Pour accueillir ces convois, il aura une largeur de 54 mètres et une profondeur de 4,50 mètres, l'ancien canal ayant une largeur de 38 mètres et une profondeur de 3 mètres.

Les écluses auront une longueur de 200 mètres mais, leur nombre ayant été réduit, leurs hauteurs de chute ont été augmentées. C'est ainsi que trois d'entre elles ont une hauteur de chute de plus de 20 mètres. Ajouté aux 4,50 m de profondeur du canal, cela correspond à des hauteurs de bajeurs équivalentes à celles d'un immeuble de 14 étages.

L'objectif n'est pas tant de créer un nouveau canal que de réaliser le réseau Seine-Escaut en construisant le chaînon manquant pour relier notre réseau fluvial à l'Europe : Le Havre, Dunkerque, Anvers, Liège, Rotterdam...

Qui pilote le projet au niveau européen ?

Au niveau européen, le réseau est réalisé par quatre partenaires que sont VNF (Voies Navigables de France) pour les parties françaises hors Canal Seine-Nord Europe, la Société du Canal Seine-Nord Europe (SCSNE), le SPW, service public de Wallonie et De Vlaamse Waterweg, service public de Flandre, qui assurent les travaux sur leurs réseaux respectifs.

À terme, le projet doit aboutir à la création d'un réseau européen de 4 000 kilomètres. Élément inédit, le 27 juin 2019, une décision d'exécution de l'Union européenne a fixé

RÉPARTITION DU FINANCEMENT DE LA NOUVELLE INFRASTRUCTURE FLUVIALE



6
© SCSNE

l'emprise géographique de ce réseau ainsi que les périmètres de réalisation de tous les projets des différents partenaires.

Si le Canal Seine-Nord Europe représente le plus gros projet - 5,1 milliards d'euros -, d'ici 2030, ce sont 8 milliards d'euros qui seront investis sur le réseau fluvial du nord de l'Europe. Des travaux sont déjà en cours sur la Seine et sur l'Oise où des écluses sont allongées et renforcées, sur le canal Condé-Pomme-roeuil, dans les Hauts-de-France, mais

6- Répartition du financement de la nouvelle infrastructure fluviale.

7- Signature de la convention de financement le 22 novembre 2019 en présence du président Emmanuel Macron.

aussi d'allongement et de rénovation d'écluses en Belgique.

Quels sont les intervenants en France ?

Les étapes préliminaires du projet, ont été conduites par Voies Navigables de France.

Depuis 2017, la Société du Canal Seine-Nord Europe (SCSNE) en est le maître d'ouvrage. Le 1^{er} avril 2020, elle a pris le statut d'Établissement Public Local piloté par la Région Hauts-de-France, les départements du Nord, de l'Oise, du Pas-de-Calais et de la Somme, en partenariat avec l'État et l'Union européenne. Cet établissement est conduit par un Conseil de surveillance, présidé par Xavier Bertrand, président de la région Hauts-de-France. Ce Conseil de surveillance regroupe l'État, les Collectivités locales et l'Union européenne.

Pour réaliser un projet de ce type, il faut une déclaration d'utilité publique (DUP) que nous avons obtenue en 2008, modifiée en 2017 et qui a été prorogée en 2018 ainsi qu'une autorisation environnementale unique⁽¹⁾.

Dans ce cadre, le projet est divisé en deux phases : une première phase au sud, entre Compiègne et Passel (secteur 1 de 18 km) et une seconde phase au nord, entre Passel et Aubencheul-a-Bac, près de Cambrai (secteurs 2, 3 et 4 de 89 km).

L'autorisation environnementale pour la phase 1 a été obtenue le 8 avril 2021 ce qui nous a permis d'engager des travaux dès 2021. L'objectif étant toujours d'insérer l'ouvrage le mieux possible dans le territoire, les premiers travaux ont porté sur la création de giratoires et de quais-travaux afin de permettre l'approvisionnement du chantier par voie fluviale.



© SCSNE

7

Ce premier secteur comprend essentiellement l'élargissement et le réaménagement du canal existant ainsi que la construction d'une nouvelle écluse. La seconde phase est sous-divisée en cinq secteurs : il y a trois secteurs de terrassement (TOARC), un secteur dédié aux écluses et un secteur pour le pont-canal de la Somme.

Pour ces secteurs, nous venons de terminer les études d'avant-projet global et de déposer le dossier d'autorisation environnementale unique le 15 mars 2022. Le lancement de l'appel d'offre du pont-canal est prévu pour juin 2022. Il s'agit d'un marché de conception-réalisation.

Comment les matériaux de terrassement vont-ils être gérés ?

Le volume des terrassements est évalué à 50 millions de m³ de matériaux excédentaires. Il est prévu que ces matériaux soient mis en dépôts définitifs au plus près de la trace du chantier. Nous avons engagé un partenariat avec la profession agricole. D'une part, une concertation est engagée pour choisir leur localisation de façon à perturber le moins possible l'environnement en place. D'autre part, il est prévu que ces dépôts puissent être remis en culture. Le schéma de gestion des déblais et des approvisionnements a été délibéré par le Conseil de surveillance et nous avons défini un guide dit "techno-solution" fixant la technique de réalisation de ces dépôts. Ces éléments figureront dans les appels d'offre à venir et les entreprises seront tenues de respecter les règles de ce guide.

D'autres mesures ont-elles été décidées à destination des entreprises ?

En ce qui concerne les entreprises qui souhaitent soumissionner à nos appels

LA SOCIÉTÉ DU CANAL SEINE-NORD EUROPE (SCSNE) EN BREF

La Société du Canal Seine-Nord Europe (SCSNE) est un établissement public qui a été mis en place spécifiquement en mai 2017 pour conduire le projet de Canal Seine-Nord Europe.

En avril 2020, conformément à la loi d'orientation des mobilités (LOM) du 24 décembre 2019, la SCSNE est devenue un établissement public local piloté par les collectivités territoriales qui disposent désormais de la majorité des sièges au conseil de surveillance. L'État demeure membre de cette instance, l'Europe est elle aussi représentée. Cette gouvernance permet une intégration forte du projet dans les territoires traversés et une écoute des attentes de chacun.

La Société du Canal Seine-Nord Europe, maître d'ouvrage, est aujourd'hui responsable de la construction du Canal Seine-Nord Europe. Son rôle est également de favoriser le développement économique lié à cette nouvelle infrastructure. Elle assure le pilotage des études, les concertations avec les parties prenantes, la préparation des dossiers d'autorisation et la préparation des marchés qui permettront de choisir les entreprises qui réaliseront le canal.

La SCSNE est dirigée par un Conseil de surveillance, présidé par Xavier Bertrand, président de la Région Hauts-de-France. Le Conseil de surveillance est composé de 30 membres. Il comprend des représentants de la Région Hauts-de-France, des départements du Nord, de l'Oise, du Pas-de-Calais et de la Somme, ainsi que des représentants de l'État, le préfet de la Région Hauts-de-France en particulier, ainsi qu'un député et un sénateur. L'Europe est, elle aussi, associée à la gouvernance du Canal Seine-Nord Europe. En effet, deux représentants de la Commission européenne siègent au Conseil de surveillance avec voix consultative.

8- Le pont-canal de 1 330 m de longueur de franchissement de la vallée de la Somme.

9- L'écluse de Marquion-Bourlon permet de sauter une "marche" de 25,71 m de hauteur.

d'offre, afin de les éclairer sur nos attentes, le conseil de surveillance a voté une "politique achat" qui fixe ses priorités en la matière et prévoit des clauses particulières relatives à l'insertion du projet dans son environnement.

Cette politique achat s'appuie également sur une démarche dite "grand chantier" délibérée par le Conseil de surveillance, visant à maximiser les opportunités pour les territoires lors des différentes phases d'avancement du projet.

Cinq dispositifs ont ainsi été mis en place : "Canal Emploi" pour les demandeurs d'emploi, "Canal Formation" pour former les futurs salariés du chantier, "Canal Solidaire", pour favoriser la réinsertion des personnes éloignées de l'emploi, "Canal Entreprises" pour accompagner les entreprises locales lors de leurs réponses aux appels d'offre, "Canal Accueil" pour accueillir les salariés du chantier sur le territoire.

Chacun de ces dispositifs est mis en place avec un partenaire en fonction de la thématique : la Région, les départements, Pôle emploi...

L'important pour nous était d'avoir des résultats très vite. Deux exemples : "Canal Solidaire" a déjà permis d'embaucher une quarantaine de personnes qui bénéficient de cette clause d'insertion par l'activité économique intégrée dans nos marchés, "Canal Entreprises" a mis en place un site internet "CCI Business Canal Seine-Nord Europe" qui inclut une plateforme de référencement des entreprises, régionales ou nationales : 338 sont déjà référencées sur le site. Cela constitue une source d'information irremplaçable car les entreprises référencées y sont classées selon leurs domaines de compétences.

Comment les aménagements environnementaux sont-ils pris en compte dans la conception de l'ouvrage ?

Avec les infrastructures et l'implication des territoires dans la réalisation du canal, les aménagements environnementaux constituent un troisième volet tout aussi important de ce projet et, notamment, les mesures compensatoires. Elles représentent une superficie de plus de 1 000 ha, ▷

© PCS



© SCSNE





10

© SCSNE



11

© SCSNE

qu'il s'agisse de zones humides, de boisements, de prairies sèches et humides, de berges lagunées.

Plusieurs partenariats ont été signés avec les territoires pour parvenir à ce résultat.

Un exemple : il était prévu notamment de replanter des ormes lisses, une espèce protégée en Picardie. Or il n'existait plus de pépiniéristes capables de pratiquer ce reboisement. Nous avons donc recréé une filière de pépiniéristes via un lycée horticole situé sur le tracé à Ribécourt. C'est ainsi qu'une dizaine d'hectares d'ormes lisses a déjà été replantée en 2021 à Chiry-Ourscamp.

Un deuxième projet a reçu un accueil très favorable des communes situées sur le territoire du Compiégnois traversé par le Canal : Les Nichoirs du Canal. Plus de 600 personnes se sont portées volontaires pour recevoir un nichoir et

UN CANAL VIVANT ANCRÉ DANS LE TERRITOIRE

Le Canal Seine-Nord Europe a été conçu dans le respect des trois principaux axes du développement durable.

ASPECT ENVIRONNEMENTAL : Le projet est réalisé selon une démarche d'écoconception, pour limiter les impacts sur l'environnement et optimiser la performance environnementale du projet. Cette démarche se mesure à partir d'indicateurs précis (emprises sur les zones boisées, nombre d'espèces protégées, impact climatique...). L'ensemble des impacts seront réduits autant que possible et feront l'objet de compensations travaillées avec les territoires (voir les premiers travaux d'aménagements environnementaux à Bienville).

ASPECTS SOCIAL ET SOCIÉTAL : développement de l'économie locale dont créations d'emplois locaux et mise en place de mesures d'insertion, respect et amélioration du cadre de vie (aménagements annexes et paysagers) : c'est la démarche Grand chantier.

ASPECT ÉCONOMIQUE : retombées économiques positives directes et indirectes, maîtrise du coût du projet.

en assurer un suivi pendant 5 saisons avec la Société du Canal Seine-Nord Europe.

Les oiseaux passent une grande partie de leur vie dans les haies, fourrés, lisières et boisements, tant pour s'alimenter, et se reposer que s'y reproduire. La construction du Canal Seine-Nord Europe nécessite de libérer les terrains, en défrichant et en déboisant. Cela peut impacter l'habitat des oiseaux. La pose de nichoirs dans les jardins situés à proximité du chantier est ainsi un moyen simple d'offrir aux oiseaux une solution pour installer leur nid.

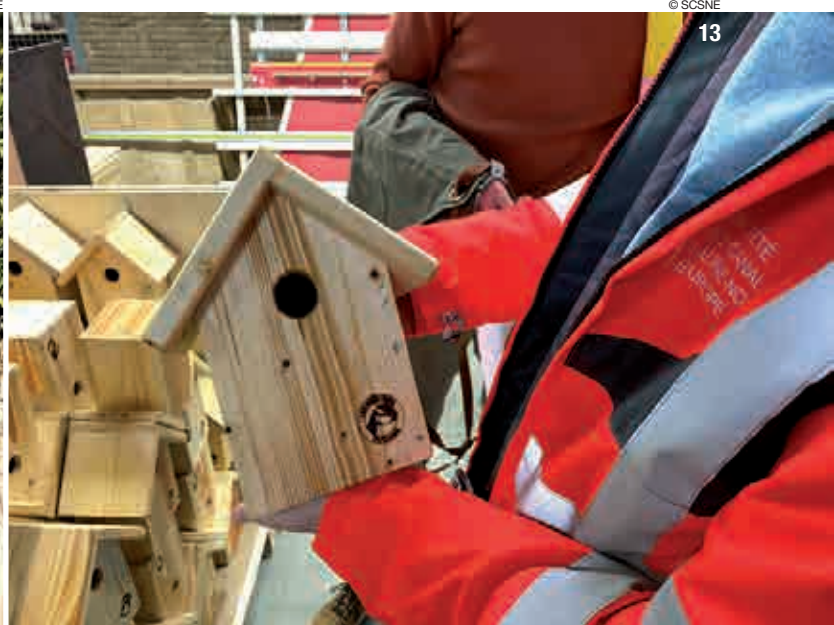
Il faut d'ailleurs noter que toutes ces mesures compensatoires ont été prises avant l'ouverture des chantiers, une pratique qui n'était pas si courante il y a quelques années.

Le programme de compensation environnementale du Canal vise à



12

© SCSNE



13

© SCSNE



14 © SCSNE

atteindre et même à dépasser l'équivalence écologique. C'est-à-dire qu'à terme, l'ensemble des aménagements environnementaux permettra de protéger et d'accroître la biodiversité sur le territoire, par rapport à la situation d'aujourd'hui.

Le projet est réalisé selon une démarche d'écoconception, pour limiter les impacts sur l'environnement et optimiser la performance environnementale du projet. Cette démarche se mesure à partir d'indicateurs précis (emprises sur les zones boisées, nombre d'espèces protégées, impact climatique...).

L'ensemble des impacts seront réduits autant que possible et les impacts résiduels feront l'objet de compensations travaillées avec les territoires.

Au niveau des travaux proprement dits, pouvez-vous faire le point sur leur avancement prévisible ?

Pour le secteur 1, de Compiègne à Passel, les études d'avant-projet détaillées se sont terminées en 2018. Elles ont

10- Plantation d'ormes lisses dans la serre du lycée horticole de Ribécourt.

11- Une dizaine d'hectares d'ormes lisses a déjà été replantée en 2021 à Chiry-Ourscamp.

12- Avec les infrastructures et l'implication des territoires, les aménagements environnementaux constituent le troisième volet du projet.

13- Les "Nichoirs du Canal".

14- Vignette d'insertion "Canal Emploi" à destination des demandeurs d'emploi.

15- Stand d'information du Canal Seine-Nord Europe dans l'Artois-Cambrésis à destination des riverains.

été confiées en avril 2017 au groupement Team'O+, groupement réunissant les entreprises Artelia Eau & Environnement (mandataire du groupement), Arcadis ESG, Tractebel Engineering SA et Ateliers 2/3/4 (cotraitants). De nombreux sous-traitants participent également au groupement.

Les études se poursuivent pour définir précisément les caractéristiques techniques de l'infrastructure, qui seront les éléments structurants pour la phase travaux.

Le dossier d'autorisation environnementale a été déposé auprès du préfet de l'Oise en avril 2019. L'enquête publique s'est déroulée du 5 octobre au 12 novembre 2020. L'autorisation environnementale a été signée puis publiée par la Préfète de l'Oise en avril 2021. Les premiers travaux préparatoires ont ainsi pu démarrer en juin 2021 et se poursuivront en 2022 : réalisation de deux giratoires et de deux quais, puis rescindement de la rivière Oise dans le secteur de Montmacq de manière à permettre la réalisation du canal. Les travaux d'infrastructure (excavation

des terres, terrassement, construction des ouvrages d'art et de l'écluse de Montmacq...) débuteront en 2023.

Pour les secteurs 2, 3 et 4, de Passel à Aubencheul-au-Bac, les études d'avant-projet détaillées ont débuté en novembre 2019. Elles ont été confiées aux groupements One2 pour le secteur 2, One4 pour le secteur 4 et un groupement mené par Arcadis pour le secteur 3.

Les premiers travaux d'aménagements environnementaux ont débuté en 2017 à Bienville (Oise) - partie Sud du tracé. Sur deux parcelles de la commune, sur près de 6 hectares, des aulnes glutineux et des saules fragiles ont été plantés afin de recréer une forêt alluviale. Sur chaque parcelle, une mare forestière a également été créée et des clairières ont été aménagées.

Chaque parcelle est délimitée par un sentier pédagogique qui permet aux promeneurs de traverser ces zones. Sur l'ensemble du projet, plusieurs dizaines d'hectares d'espaces naturels seront restaurés grâce à la replantation d'arbres, l'aménagement de roselières, la restauration de zones humides ou encore la création de prairies sèches, de mares forestières, de haies ou de ripisylve (végétation bordant un milieu aquatique). Ces aménagements seront réalisés jusqu'à la fin du chantier de construction du canal afin de compenser les effets du projet sur l'environnement.

Plantations d'arbres, création de mares, construction d'un ponton d'observation... Certains aménagements environnementaux réalisés entre l'automne 2018 et le printemps 2019 dans le cadre du projet du Canal Seine-Nord Europe ont été menés en partenariat avec le lycée horticole de Ribécourt, avec l'implication des étudiants. ▷

© SCSNE

15



D'autres caractéristiques environnementales du projet peuvent-elles être mises en évidence ?

L'alimentation du canal provient de l'Oise et exclut tout prélèvement dans les nappes phréatiques. L'étanchéité du canal permet de limiter les besoins en eau. L'exploitation des écluses se fait pratiquement en cycle fermé : l'eau nécessaire à l'utilisation des écluses est notamment remontée par pompage entre les biefs. La préservation en périodes de basses-eaux (étiage) est assurée grâce à la mise en place d'une réserve en eau dans une retenue située à Allaines (Somme).

Le projet est conçu de façon à ne pas avoir d'impact sur le niveau des crues. Sa conception - notamment la localisation de l'écluse de Montmacq et la réalisation d'un déversoir - permet même localement une baisse du niveau de l'Oise en crue sans incidence sur l'Oise aval.

Le projet comprend des aménagements écologiques spécifiques : 25 km de berges lagunées et 17 hectares d'annexes hydrauliques. Ils permettent le développement de différentes espèces animales et végétales et jouent le rôle de "poumon vert" du canal.

Quel sera l'impact du canal sur l'emploi et le développement économique de la région ?

Équipement structurant toute une région, au sein du 1^{er} réseau fluvial européen à grand gabarit long de 1100 km (liaison Seine-Escaut), le Canal Seine-Nord Europe aura des effets économiques à court, moyen et long termes. Il sera facteur de création de nombreux emplois et permettra le renforcement et l'émergence de filières économiques existantes et nouvelles.



16

© SCSNE

MARQUION-BOURLON ET OISY-LE-VERGER : PLUS DE 25 MÈTRES DE CHUTE D'EAU

Les écluses de Marquion-Bourlon et de Oisy-le-Verger, dans le Pas-de-Calais constituent les deux plus hautes chutes d'eau du Canal Seine-Nord Europe. Leur chute d'eau (différence d'altitude entre le niveau de l'eau en amont et en aval), sera impressionnante par sa hauteur : celle de Marquion-Bourlon permet aux bateaux de franchir une "marche" de 25,71 mètres et celle de Oisy-le-Verger, visitable par le grand public, de 25 mètres.

Ces deux écluses disposeront de bassins anti-intumescence afin de maintenir le niveau dans le bief du canal lors des éclusées (cycle de passage de bateau). Cela permet ainsi de dissiper l'onde d'eau générée par les éclusées et de limiter les impacts sur les berges, y compris sur le Canal de la Sensée.

Ces écluses sont conçues pour limiter la consommation d'eau. Lors de chaque éclusage, une majeure partie de l'eau du sas sera récupérée dans des bassins d'épargne accolés à l'écluse et réutilisée pour la bassinée suivante. L'autre partie sera repompée du bief aval vers le bief amont. Ce système a été pensé afin d'optimiser l'alimentation en eau du canal.

À court terme, lors des travaux, de nombreux emplois seront générés par le chantier (estimés entre 3000 et 6000 emplois directs suivant les périodes) ainsi que pour l'accueil des équipes qui devront se loger, se nourrir et qui consommeront localement (esti-

més entre 10000 et 13000 emplois directs et indirects). Les travaux seront également l'occasion de développer le tourisme de chantier.

Les territoires, sous le double pilotage du préfet de la Région Hauts-de-France et du président de la Région Hauts-de-

16- L'écluse de Oisy-le-Verger, de 25 m de hauteur, sera visitable par le public.

17- Travaux préparatoires de battage de palplanches sur la commune de Ribécourt-Dreslincourt.

18- Construction des quais du canal sur la commune de Pimprez, dans l'Oise.

France copilotes de la Démarche Grand Chantier, s'organisent déjà pour saisir ces opportunités.

À moyen et long terme, le canal permettra la circulation de bateaux à grand gabarit, ce qui baissera le coût du transport et augmentera ainsi la compétitivité des entreprises. En raccordant le Nord de l'Europe au bassin de la Seine, il créera un effet de réseau qui bénéficiera aux entreprises françaises raccordées au réseau fluvial à grand gabarit du Havre jusqu'à Dunkerque et à la frontière belge. Cet effet réseau sera également profitable aux ports maritimes du Havre, de Rouen et de Dunkerque dont l'interland, c'est-à-dire la zone d'influence dans les terres, sera considérablement élargi. □

1- Depuis le 1^{er} mars 2017, les différentes procédures et décisions environnementales requises pour les projets soumis à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les projets soumis à autorisation au titre de la loi sur l'eau (LITA), sont fusionnées au sein de l'autorisation environnementale. La réforme consiste également à renforcer la phase amont de la demande d'autorisation, pour offrir au pétitionnaire une meilleure visibilité des règles dont relève son projet.



© SCSNE

17



© AC BARBIER

18

Digitalisation des activités

Travail collaboratif

Partage des données



**Bienvenue
dans un monde
qui se construit autrement.**

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

Notre métier : assurer le vôtre.

www.groupe-sma.fr

SMABTP – Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.
RCS PARIS 775 684 764 – 8 rue Louis Armand – CS 71201 – 75738 PARIS CEDEX 15



SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**



1

© CAMILLE MOIRENC/CNR

CNR (Compagnie Nationale du Rhône) FAIRE VIVRE UN FLEUVE AU FIL DE L'EAU

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LA LOI "AMÉNAGEMENT DU RHÔNE" PORTÉE PAR PATRICK MIGNOLA, DÉPUTÉ DE LA SAVOIE, A ÉTÉ DÉFINITIVEMENT ADOPTÉE PAR LE PARLEMENT LE 17 FÉVRIER 2022. ELLE CONFORTE ET MODERNISE LE MODÈLE DE CNR POUR LA GESTION INTÉGRÉE DU FLEUVE RHÔNE. DÈS LA PROMULGATION DE CETTE LOI, CNR A RENFORCÉ PAR SES ENGAGEMENTS ET SES MISSIONS - ÉNERGIE RENOUVELABLE, TRANSPORT FLUVIAL ET IRRIGATION - SA CONTRIBUTION À LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET ÉNERGÉTIQUE DES TERRITOIRES JUSQU'EN 2041. LAURENCE DUCHESNE, DIRECTRICE ADJOINTE "INGÉNIERIE ET GRANDS PROJETS" DE CNR, FAIT LE POINT SUR LE MODÈLE UNIQUE QUE CONSTITUE LA COMPAGNIE AINSI QUE SUR SES RÉALISATIONS RÉCENTES OU EN COURS EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL ⁽¹⁾.

Cent ans après la loi de 1921 qui confie à un opérateur unique les trois missions solidaires et indissociables - hydroélectricité, transport fluvial et irrigation - le législateur

a renouvelé sa confiance dans ce modèle intégré qui met l'eau du fleuve et l'électricité produite au service de la croissance verte des territoires. Le bureau d'ingénieurs-conseil inté-

1 - La centrale/écluse de Bourges-Valence dans la Drôme.

gré de CNR, "CNR Ingénierie", existe depuis la réalisation des premiers aménagements portuaires et des biefs hydrauliques. Il a permis de former, accompagner et piloter en maîtrise

2- Laurence Duchesne, directrice adjointe "ingénierie et grands projets" de CNR.

d'œuvre les premiers aménagements sur le Rhône.

Le barrage-poids de Génissiat (Ain) fut le premier. Il a été mis en eau en 1949. Il est d'ailleurs atypique dans la chaîne d'aménagement du Rhône car il comporte une chute de 80 m de haut et a assuré en particulier la fourniture de Paris en électricité.

« En 1952, poursuit Laurence Duchesne, CNR a poursuivi avec l'aménagement de Donzère-Mondragon à Bollène (Vaucluse) et c'est à cette époque qu'elle a commencé à développer le schéma d'aménagement dit "au fil de l'eau" consistant à construire non pas des barrages qui ferment une vallée mais des ouvrages de plaine, toujours associés à une écluse, une usine hydro-électrique et des endiguements qui ont été construits pour assurer une hauteur d'eau nécessaire pour la production hydro-électrique et la navigation en période normale et en période de crues. Ces ouvrages "au fil de l'eau" sont vertueux par deux aspects : ils laissent toujours passer un débit et ils sont ouverts pendant les crues, s'effaçant en quelque sorte, ce qui permet au Rhône de retrouver son lit naturel. Ces caractéristiques constituent le triptyque des missions de CNR : production, irrigation, navigation. Triptyque qui reste d'actualité avec la promulgation de la nouvelle loi de février 2022. »

Ceci a abouti à l'aménagement de 330 km de voies navigables et la réalisation de 19 aménagements jusqu'en 1987 ainsi que de plusieurs ports de fret ou de plaisance.

500 M€ AU PROFIT DES INFRASTRUCTURES DU FLEUVE

Le nouveau programme d'investissements de 500 millions d'euros va être engagé en faveur de l'aménagement du Rhône, du développement des capacités hydroélectriques, de la fiabilisation de la navigation et de la continuité piscicole.

Concernant les ouvrages hydrauliques, le texte prévoit, en cohérence avec les objectifs de la Programmation Pluri-annuelle de l'Énergie (PPE), d'optimiser la production d'électricité sur le Rhône avec un objectif de 600 GWh, soit l'équivalent de la consommation

© MARC MONTAGNON



LAURENCE DUCHESNE : PARCOURS

Laurence Duchesne est ingénieure de l'École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie (ESTP 1993) dans la spécialité "supervision - contrôle de travaux" à une époque, pas si lointaine, où les effectifs féminins ne représentaient que 12 % d'une promotion.

Elle commence sa carrière en 1993 chez Bachy, (avant la fusion avec Solétanche), en tant que responsable du contrôle de chantier sur des réalisations d'envergure tels que Météor (Ligne 14 "Mairie de Saint-Ouen - Olympiades" du métro parisien) ou la Bibliothèque de France (architecte : Dominique Perrault), notamment de la galerie souterraine en paroi moulée en bordure de Seine qui permet le cheminement des visiteurs à l'intérieur de l'ouvrage.

En novembre 2000, Laurence Duchesne rejoint Compagnie Nationale du Rhône (CNR) passant ainsi du côté "entreprise" à celui de "maîtrise d'œuvre".

Dans un premier temps, elle intègre le bureau d'ingénieurs-conseil de CNR "CNR Ingénierie" qui traite les chantiers de la phase avant-projet jusqu'à la phase réception des travaux de 2000 à 2012.

Elle devient ensuite directrice déléguée du laboratoire hydraulique et structures de CNR, créé en 1936 et devenu en 2014 le Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages Hydrauliques (Cacoh), qui étudie et valide la conception hydraulique de l'ensemble des ouvrages de production hydro-électrique et de navigation du Rhône à l'aide de modèles réduits physiques.

Dans cette fonction, elle assure la gestion des affaires en externe mais appuie également l'ingénierie d'exploitation des ouvrages de CNR, en particulier dans le cadre du décret réglementaire du 12 mai 2015, communément appelé décret "sûreté-barrages", relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques.

En 2018, Laurence Duchesne revient à l'ingénierie en prenant la responsabilité du département "projets conception et essais" de CNR avant d'être nommée en 2019 directrice adjointe "ingénierie et grands projets".

À ce poste, elle garantit la mise en œuvre des orientations stratégiques de l'entreprise dans son périmètre de responsabilités et pilote, avec le directeur, le management des équipes de l'ensemble de la Direction en vue de l'atteinte des objectifs fixés.

Désormais sa mission est de préparer l'ingénierie à intégrer le portefeuille de travaux de 500 M€ de travaux qui est connexe avec l'obtention de la loi "aménagement du Rhône" votée en février 2022.

Elle retrouve ainsi son "dada" d'enfance "construire et aménager", une chance, comme elle le dit elle-même, dans une carrière d'ingénieur Travaux Publics.

En 2022, Laurence Duchesne est directrice adjointe "ingénierie et grands projets" de CNR ainsi que membre du comité de direction et du comité de coordination industrielle de la société.

annuelle de 236 000 habitants, comprenant notamment :

- Une augmentation de la puissance installée de l'usine hydroélectrique de Montélimar ;
- La construction de 6 petites centrales hydrauliques dotées chacune de passes à poissons ;
- L'étude d'un nouvel ouvrage hydroélectrique dans la zone géographique de Saint-Romain-de-Jalionas (38).

À propos de la navigation, le texte prévoit le doublement des portes aval des écluses de Châteauneuf-du-Rhône et de Bollène pour accompagner et encourager l'augmentation du trafic fluvial sur le Rhône.

Par ailleurs, le nouveau schéma directeur permettra à CNR de poursuivre et renforcer des missions d'intérêt général complémentaires en tant qu'aménageur de la vallée du Rhône.

Les investissements sont définis dans des programmes quinquennaux, à hauteur de 165 millions d'euros tous les 5 ans dans le cadre d'une gouvernance renforcée. Ces Plans quinquennaux de 165 M€ se déclineront sur les territoires riverains du fleuve aux travers de 5 volets (production d'électricité hydraulique et autres usages énergétiques, navigation et transport fluvial, irrigation et autres emplois agricoles, environnement et biodiversité et enfin, actions complémentaires en lien avec les territoires).

« Le développement des énergies renouvelables est au cœur du projet de CNR, poursuit-elle, afin d'accompagner la France sur la voie de la "neutralité carbone" d'ici 2050. Forte de cette loi, CNR agira notamment pour la promotion et la diffusion de nouveaux vecteurs énergétiques comme l'hydrogène renouvelable et le déploiement de solutions solaires innovantes telles que la photovoltaïque flottant, grand linéaire, ou l'agrivoltaïsme⁽²⁾. »

INGÉNIERIE : EN PROGRESSION CONSTANTE

Au fil des années, l'ingénierie a progressé au sein de CNR et le bureau d'ingénieurs-conseil assure désormais des missions de conseil, de pilotage, de suivi de réalisation, de transfert à l'exploitation pour l'ensemble des domaines relatifs aux ouvrages hydrauliques ainsi que pour des aménagements pour développer le portuaire, le transport fluvial, les aménagements écologiques et pour les loisirs.

« Depuis la fin des aménagements sur le Rhône dans les années 80, ▷



3 © SCSNE

nous avons évolué, ajoute Laurence Duchesne, *pour proposer des prestations à des maîtres d'ouvrage extérieurs en France et à l'étranger. 25 % de nos prestations sont réalisées aujourd'hui en externe.* »

VIETNAM : AMÉNAGEMENT DU FLEUVE ROUGE

CNR et ses deux co-traitants Egis et VIPO ont signé en novembre 2020 avec la Project Management Unit Waterways du ministère des transports vietnamien un contrat de maîtrise d'œuvre pour un important projet d'amélioration de la navigation sur le delta du Fleuve Rouge. Baptisé « Day-Ninh Co Connecting Canal (DNC) », ce projet de 85 M\$ sur financement Banque Mondiale consiste à réaliser un canal de raccordement entre deux bras du Fleuve Rouge équipé d'une écluse à grand gabarit et d'un pont routier franchissant l'ensemble de l'aménagement.

Ce contrat d'ingénierie export d'un montant total de 2,3 M\$ s'inscrit dans le contexte du Northern Delta Transport Development Project pour lequel CBR

ingénierie accompagne le ministère des transports vietnamien depuis 2011. Le delta du Fleuve Rouge, situé au Nord Vietnam, constitue un réseau de transport interconnecté permettant actuellement le transport fluvial entre les provinces périphériques de Hanoi et le port de Haiphong. Après les premiers aménagements du projet NDTDP réalisés entre 2013 et 2017, le projet dit "DNC" (Day - Ninh Co connecting Canal) compte ainsi parmi les plus importants projets de transport en cours de développement fluvial au Vietnam. Il permet d'améliorer le gabarit de circulation fluviale existante, de relier entre elles les zones portuaires majeures de Ninh Binh et Viet Tri, et ouvre l'ensemble du delta au domaine fluviomaritime de manière pérenne. Il constitue ainsi le dernier maillon du projet global de modernisation des voies navigables du delta, en permettant notamment l'ouverture vers Quan Ninh et le domaine maritime de la région Asean et la Chine. Le projet DNC consiste en la construction de trois infrastructures clés :

3- L'écluse de Montmacq sur le futur Canal Seine-Nord Europe.

4- L'aménagement de Donzère-Mondragon, premier barrage "au fil de l'eau".

5a & 5b- Le projet "Day-Ninh Co Connecting Canal" au Vietnam.

- Un canal de raccordement d'environ 1 km et 100 m de largeur entre 2 bras du Fleuve Rouge (Rivière Day et Rivière Ninh-Co) à proximité de leurs estuaires respectifs ;
- Une écluse à grand gabarit de 170 m de long par 17 m de large ;
- Un pont routier permettant à la route principale existante le franchissement du canal et de l'écluse.



© CNR 5a



4 © CNR



5b © CNR



6



7

6- CNR assure la gestion de 550 km de fleuve. Ici, en aval de la centrale-écluse de Gervans, dans la Drôme.

7- Laurence Borie-Bancel est présidente du directoire de CNR depuis le 17 décembre 2021.

À PROPOS DE CNR

CNR est le concessionnaire du Rhône pour la production d'hydroélectricité, le transport fluvial, les usages agricoles et le premier producteur français d'énergie exclusivement renouvelable. Aménageur des territoires, CNR est un acteur clé de la transition énergétique. Son savoir-faire rayonne également à l'international.

Laurence Borie-Bancel est présidente du directoire de CNR depuis le 17 décembre 2021. Son credo : " maintenir une électricité 100% made in France ".

- 1 400 collaborateurs.
- 550 km de fleuve géré.
- 400 km de digues.
- 30 000 ha de domaine concédé.
- 19 écluses.
- 15,3 TWh de production d'origine exclusivement renouvelable (en 2021).
- 4 000 MW de puissance installée eau, vent, soleil.
- 152 infrastructures de production dans l'hydraulique, l'éolien et le photovoltaïque : 50 barrages et centrales hydroélectriques, 57 parcs éoliens et 49 centrales photovoltaïques.
- 25 % de l'hydroélectricité française.

Ses missions pour un aménagement responsable du Rhône : promouvoir le transport fluvial, irriguer les terres agricoles, protéger la nature, produire de l'électricité 100% verte, être une entreprise-laboratoire des énergies du futur, exporter son expertise en ingénierie.

CANAL SEINE-NORD EUROPE : L'ÉCLUSE DE MONTMACQ

En collaboration avec le groupement Artelia/Tractebel/Arcadis, CNR participe à la conception de l'écluse de Montmacq sur le canal Seine-Nord Europe. Elle va également réaliser pour VNF le centre de télé-conduite des 7 écluses que comportera l'ouvrage.

Elle s'appuie ainsi sur son expérience tant dans la construction que dans le pilotage des écluses.

CNR a construit 14 écluses à grand gabarit entre Lyon et la Méditerranée. Ces écluses sont télé-conduites depuis le Centre de Gestion de la Navigation (CGN). Unique en France, il est actif 7 j/sur 7 et 24h/24. Depuis 2012, après cinq ans d'études et de travaux, la mise en place du Centre de gestion de la navigation (CGN), à Châteauneuf-du-Rhône, dans la Drôme, permet une télé-conduite à distance des quatorze écluses.

CGN : PILOTAGE ET SURVEILLANCE 24H/24

« Ce centre permet de garantir une sécurité maximale sur le Rhône grâce à une surveillance accrue des installations. Il améliore l'information des usagers du Rhône et optimise le niveau de service aux navigateurs sur les 330 km de fleuve entre Pierre-Bénite et la Méditerranée. La détection et la gestion des incidents ainsi que la traçabilité des transports de matières

dangereuses notamment ont été fortement améliorées. Du seul éclusier avec ses jumelles, on est passé à des outils informatiques sophistiqués, à des caméras et au système de géolocalisation Automatic Identification System (AIS), qui apporte aujourd'hui une vision globale et précise en temps réel de la position et de la vitesse des bateaux au service d'une voie d'eau intelligente. » De telles réalisations de pilotage optimisé de la gestion de biefs hydrauliques peuvent être externalisées tant en France qu'à l'international.

Outre VNF en France, et comme autre exemple, CNR ingénierie est le conseil, depuis 2017, du ministère de l'Énergie et des Mines du Laos au travers d'un centre de suivi et de coordination (CSC) pour la gestion vertueuse du fleuve Mékong et de ses affluents.

« L'objectif de ce CSC, précise Laurence Duchesne, est d'apporter une vision globale pour une gestion concertée des aménagements déployés sur le fleuve. Il vise de plus à développer et à partager les bases de données de référence pour la conciliation de tous les usages du fleuve : production d'hydroélectricité (positionnement optimale des turbines, conception, schéma de performance, construction, transfert en exploitation définitive), navigation, irrigation, tourisme, prévision des crues et des étiages, gestion sédimentaire, protection de la biodiversité, suivi de la migration piscicole... CNR participe à toute la chaîne qui permet de maîtriser l'ouvrage hydraulique. »

SARENNE : UNE CHUTE DE 735 m

Parmi les travaux en cours qui confirment la diversification du bureau d'ingénieurs-conseil de CNR, il convient de citer le chantier de construction de la centrale hydroélectrique de la Sarenne (Isère), dont les travaux sont prévus de mars 2021 à septembre 2023 pour un montant de 38 M€.

Via sa filiale CN'AIR, elle a fait l'acquisition de la concession du torrent de la Sarenne en juillet 2015, en vue de construire un aménagement hydroélectrique de haute chute (735 m) d'une puissance installée de 11 MW. Avec une production annuelle prévue de 36 GWh, elle permettra d'alimenter en électricité renouvelable l'équivalent de la consommation électrique de 16 000 habitants dès 2024.

Pour sa réalisation, spie batignolles génie civil a mis en œuvre un tunnelier à roche dure baptisé "Gaïa", long de 170 m et de 4,20 m de diamètre, ▷

équipé de gripper et de skis pour faciliter son avancement. Le creusement du tunnelier a évolué sur un tracé de 2,3 km avec une pente de 23%, depuis une galerie de 70 m de longueur préalablement réalisée à l'explosif par les équipes de spie batignolles génie civil.

En fonction des caractéristiques de la roche, le soutènement sera adapté avec simple ou double boulonnage. Des voussoirs radier de diamètre 1,20 m seront positionnés au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier.

En raison de la présence de zones amiantifères, le tunnelier a été adapté pour garantir la sécurité des équipes (cabine de décontamination, ...). L'avancée est complexe en raison de la courbe du tracé, de la traversée de zones avec présence d'amiante et de deux failles principales qui ont nécessité quelques soutènements. Le reste de la galerie est laissée à nu avec une roche très compacte.

« L'aménagement est conçu, précise Laurence Duchesne, dans un souci constant d'équilibre entre la valorisation économique, le respect de la biodiversité et la prise en compte d'un environnement montagnard sensible. C'est pourquoi le projet comprend également la construction d'une passe à poissons, la remise en état des parcelles de travaux, la végétalisation des sites localement déboisés lors du chantier, un ensemble de mesures de préservation de l'environnement et de la biodiversité pendant toute la durée des travaux. »

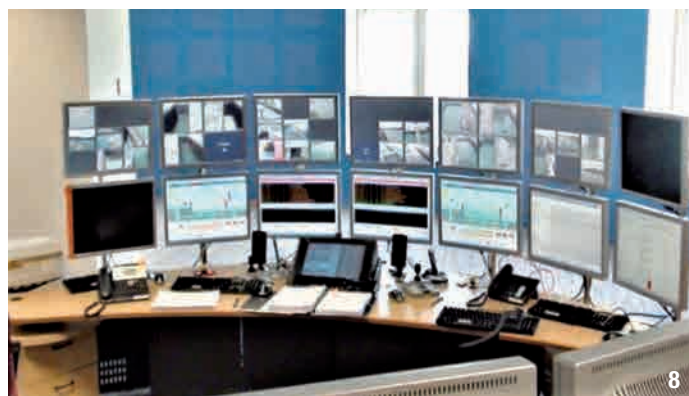
Ce projet s'inscrit pleinement dans la stratégie de développement des activités hydroélectriques de CNR au-delà du fleuve Rhône et représente pour l'Isère un nouvel actif de production d'énergie verte pour accélérer la transition énergétique du territoire.

Il lui permet de compléter les compétences de l'ingénierie et de préparer le grand programme de travaux associé à la gestion intégrée du fleuve Rhône.

PASSES À POISSON : UNE SPÉCIALITÉ BIEN MAÎTRISÉE

L'article L.214-17 du code de l'environnement (rivières classées "échelles à poissons") prévoit qu'une liste de cours d'eau ou canaux appelée "liste 2" dans lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs est établie pour chaque bassin.

Plusieurs tronçons du Rhône et affluents (confluence) ont été classés en Liste 2 et nécessitent de mettre



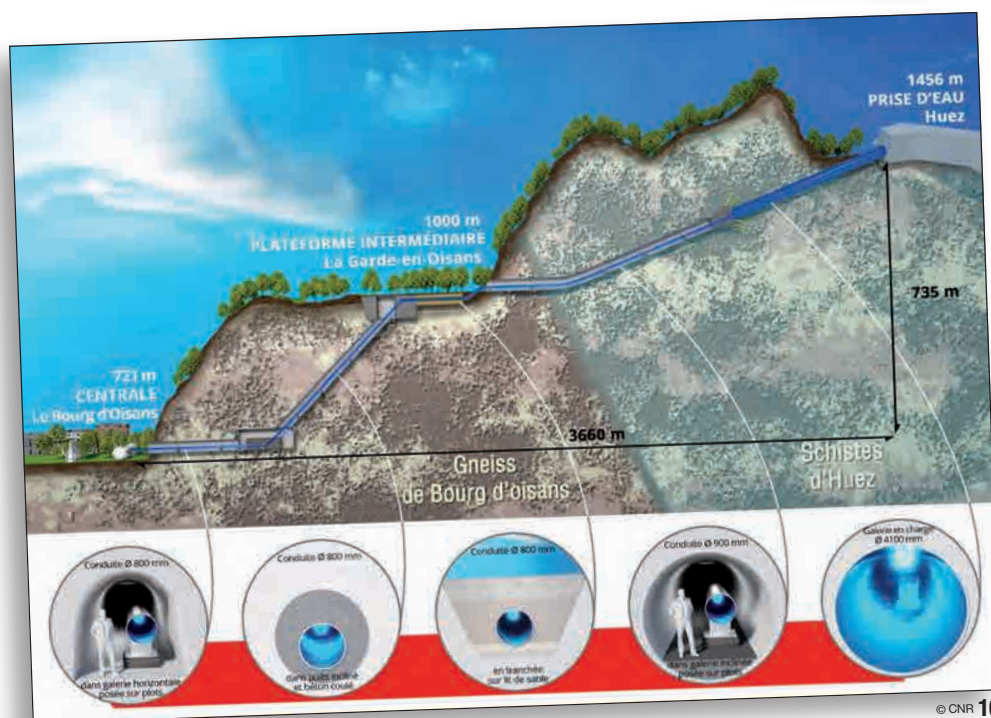
8- Le centre de pilotage et de surveillance CGN.

9- Schéma de principe de l'aménagement de la Sarenne.

10- Vue en coupe de l'aménagement de la centrale hydroélectrique de la Sarenne.



© CNR 9



© CNR 10



11
© ACTOPHOTO



12
© ACTOPHOTO

11- Le chantier du tunnel de la Sarenne.

12- Le tunnel de la Sarenne, réalisé au tunnelier, est équipé de voûsoirs.

13- Pour le canal de Panama, le projet a consisté à ajouter deux nouvelles écluses.

14- CNR est intervenue comme ingénieur conseil de 2002 à 2011 pour la conception de la troisième ligne d'écluses du canal de Panama "post-Panamax".

en œuvre de nouveaux ouvrages de franchissement, ceux en place n'étant plus adaptés aux enjeux et objectifs d'aujourd'hui (SDAGE 2016-2022 notamment). En particulier, les espèces cibles pour les ouvrages du bas-Rhône sont le plus souvent les grands migrateurs : alose feinte, lamproie et anguille. L'apron est plus faiblement visé. Le déploiement des projets a démarré depuis 2018 et parmi les passes à

poissons les plus récentes, il faut citer celles des barrages de Sauverre (Gard) et de Villebois (Ain). Cette dernière, réalisée par le groupement Maia/Soletanche Bachy donne une idée de l'importance que représente une telle construction : 10 000 m³ de terrassement, 1 520 m³ de béton, 120 pieux sécants de 1 200 m de longueur cumulée et 1 000 m³ de béton, 425 t de palplanches.

C'est la première fois que la technique des pieux sécants était utilisée pour un ouvrage CNR. C'est la 17^e passe à poissons réalisée depuis la mise en place des plans MIG en 2003.

« Une passe à poissons est un ouvrage beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît, indique Laurence Duchesne, tant au niveau de sa conception que de sa construction, afin de garantir son bon fonctionnement. Il importe en particulier

que les poissons soient attirés par le courant d'attrait et ainsi cheminent dans la passe qui dispose de zones de repos entre les différents bassins. Tous ces éléments sont pris en compte avec les experts en matière de poissons et les associations de pêcheurs et de la faune piscicole afin de déterminer les poissons à valoriser et la conception des bassins. Les nouvelles passes seront d'ailleurs équipées de systèmes de comptage. » ▷

CANAL DE PANAMA : LES NOUVELLES ÉCLUSES

Vieux de plus d'un siècle (1914), le canal de Panama n'était plus aux standards modernes, incapable d'accueillir les super porte-conteneurs qui assurent aujourd'hui la moitié du transport maritime mondial. Ses quatre écluses ne mesurent que 33 mètres de large.

Le projet a consisté à en ajouter deux nouvelles, une à chaque bout. Plus longues (427 m), plus larges (55 m), plus profondes (18 m), elles permettront le passage des cargos "post Panamax", pouvant charger jusqu'à 14 000 conteneurs EVP (équivalent vingt pieds), au lieu de 5 000 avec les navires de la classe dite "Panamax".

« CNR est intervenue comme ingénieur conseil de 2002 à 2011 pour la conception de la troisième ligne d'écluses du canal de Panama "post-Panamax", indique Laurence Duchesne. Les nouvelles écluses sont des ouvrages de navigation exceptionnels par leur taille. Leur importance dans le trafic maritime a réclamé un niveau de performance sans équivalent dans le monde. Elles constituent des prototypes dans lesquels sont intégrés de multiples innovations. La phase de conception a intégré la construction d'une grande maquette hydraulique au laboratoire intégré de CNR, qui avait pour but de valider les séries de tests expérimentaux. Par sa dimension et sa complexité, cette maquette a

constitué une première au niveau international pour des projets de voies navigables. »

Équipée d'une centaine de capteurs, cette maquette de 65 mètres de longueur est un assemblage de plus de 3 000 pièces réalisées au dixième de millimètre. Deux sas, trois bassins et l'ensemble du système hydraulique (prise d'eau, aqueducs, vannes, larrons) ont été reproduits.

Les nouvelles écluses sont vraiment impressionnantes. Elles sont associées à un système de bassin réalisé pour économiser de l'eau douce à chaque passage. Il fallait en effet concilier cet impératif d'économie d'eau - 8% en moins - grâce à un circuit technique sophistiqué.

Cette performance a été reconnue par l'attribution en 2011 du Grand Prix National de l'Ingénierie, décerné conjointement par les Ministères de l'Industrie et de l'Écologie.

Le canal long de 80 km peut désormais accueillir des navires transportant jusqu'à 14 000 conteneurs, le triple de la capacité d'avant les travaux.

L'enjeu était de taille : 5% du fret maritime passent par ce petit bout d'autoroute maritime qui relie l'océan Atlantique au Pacifique. En évitant le contournement du continent américain par le sud, il permet aux navires d'économiser 13 000 kilomètres de navigation.



13
© CNR



14
© CAMILLE MOIRENC/CNR



15

© CÉDRIC HELSLY

PCH : ACCOMPAGNER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LE CADRE DE LA PPE

La loi de février 2022 prévoit la réalisation de 6 petites centrales hydrauliques représentant 140 GW/h/an qui seront toutes équipées de passes à poissons. Il s'agit là d'une spécialité que maîtrise bien CNR puisqu'elle en a déjà construit quatre sur le Rhône : Motz (Savoie), Lavours (Ain), Le Pouzin et Rochemaure (Ardèche)

Une cinquième est en cours d'achèvement à Vallabrègues (Gard).

La PCH est implantée à environ 1 km en amont du barrage de Vallabrègues, entre le Rhône et le Gardon, suivant un angle de 50°. À cette centrale, seront associés un ouvrage de montaison composé de 46 bassins et un ouvrage de dévalaison avec une prise d'eau équipée d'une grille fine dont les barreaux seront espacés de 15 mm.

L'usine sera équipée d'un groupe Kaplan vertical, d'environ 8 MW avec un débit d'équipement de 84 m³/s. Les travaux ont démarré en mi 2020 et seront achevés fin 2025.

SAINT ROMAINS-DE-JALIONAS : LE DERNIER SUR LE RHÔNE

Le dernier aménagement à venir sur le Rhône - le 20^e sur ce fleuve au fil de l'eau - est le barrage de Saint-Romains-de-Jalionas (140 GW/an), au nord de Lyon, en aval de la centrale nucléaire du Bugey.

C'est un projet de 230 millions d'euros. CNR doit mener des études afin de confirmer que ce nouveau barrage associé à une usine de production d'hydroélectricité est envisageable. Pour cette réalisation, la CNDP⁽³⁾ sera saisie en 2023 et le schéma classique d'instruction de cet aménage-

ment pourra alors suivre son cours. Parallèlement à l'ensemble de ces projets, CNR poursuit son programme de rénovation des écluses de Château-neuf-du-Rhône et de Donzère-Mondragon, d'augmentation de la puissance de la centrale de Montélimar et du rehaussement de sa digue amont ainsi que d'amélioration de plusieurs ouvrages de navigation existants.

15- Le chantier de la passe à poissons de Villebois.

16- Pour la passe à poissons de Villebois, c'est la première fois que la technique des pieux sécants était utilisée pour un ouvrage CNR.

POURSUITE DE LA RÉHABILITATION DES LÔNES

Se poursuit également la réhabilitation des lônes et des marges alluviales du Rhône. Le projet de réhabilitation sur le Rhône, initié en 2011, est labellisé Plan Rhône. Il est mené par CNR (maître d'ouvrage) en collaboration avec de nombreux partenaires et acteurs du territoire, notamment l'Agence de l'Eau qui finance le projet à hauteur de 50%. Le site de Baix-Lône de Géronton est le premier des trois projets engagés sur le Vieux-Rhône de Baix-Le-Logis-Neuf. Les travaux, réalisés sur deux saisons, ont démarré en septembre 2020.

Les chiffres-clés : 2,8 M€ de travaux pour le lot 1 (Berthouly-Forézienne), démantèlement de 880 m de digues + 7 traverses, creusement de 1 800 m de lône, remplacement d'un passage à gué par un ouvrage cadre.

Les mouvements de matériaux s'élèvent à 60 000 m³ d'enrochements, 60 000 m³ de sédiments fins remis au Rhône, 12 000 m³ de graviers restitués au Rhône en aval du barrage du Pouzin. À ceci s'ajoutent le terrassement de la lône de Géronton (Ardèche) et la restitution des matériaux alluvionnaires fins du Rhône, le démantèlement des épis Girardon dans les emprises de la lône ainsi que la construction de l'ouvrage cadre permettant l'accès à un stade. La saison 2, engagée entre septembre 2021 et février 2022 comprend la fin des travaux de terrassement de la lône de Géronton, le traitement des matériaux contaminés par la renouée, la restitution des matériaux alluvionnaires fin et des graviers au Rhône en aval du barrage de Pouzin, le démantèlement des ouvrages Girardon longitudinaux (digues amont et aval) et le traitement des renouées en face du village de Baix.



16

© CÉDRIC HELSLY



17

© CNR



18

© CAMILLE MOIRENC/CNR

Elle s'achèvera par la végétalisation et la remise en état écologique réalisée entre février 2022 et décembre 2022.

UNE STRATÉGIE À L'HORIZON 2030

En 2020, CNR a fixé ses ambitions à l'horizon 2030⁽⁴⁾. Conformément aux objectifs nationaux et européens de transition écologique, étroitement imbriquées à sa responsabilité sociétale d'entreprise (RSE), elles traduisent dans le plan stratégique sa raison d'être pour les années à venir. Cette stratégie CNR 2030 répond à

17- L'ouvrage de montaison de la PCH en amont du barrage de Vallabrègues est composé de 46 bassins.

18- Le Vieux-Rhône en aval du barrage de Rochemaure dans l'Ardèche.

19- Le Cacoh est un outil d'expertise mondiale.

un objectif de transformation et de développement de l'entreprise dans un monde en pleine évolution.

Adossée à 6 ambitions complémentaires, elle doit contribuer à la relance verte de l'économie et constitue un engagement fort et durable auprès des parties prenantes : développement du Rhône et de ses usages de manière responsable, accélérer la production d'électricité renouvelable (multiplication par 4) et son stockage, être l'entreprise des énergies du futur, innovante dans tous ses métiers, au service de la transition écologique, accompagner les

territoires dans les défis climatiques et environnementaux. □

- 1- Compte-tenu du thème de ce numéro de Travaux consacré aux travaux maritimes et fluviaux, ce reportage est consacré exclusivement aux travaux "fluviaux" engagés par CNR à l'exclusion de ses activités dans le domaine des énergies renouvelables proprement dites (éolien et photovoltaïque).
- 2- L'agrivoltaïque est un système étagé qui associe une production d'électricité photovoltaïque et une production agricole au-dessous de cette même surface.
- 3- CNDP : Commission Nationale des Débats Publics.
- 4- La loi "aménagement du Rhône" du 17 février 2022 permet à CNR de se projeter jusqu'en 2041.



19

© CNR

LE CACOH : UN OUTIL D'EXPERTISE MONDIALE

Dès sa création, Compagnie Nationale du Rhône s'est attachée à disposer en interne des compétences nécessaires pour répondre aux exigences techniques et réglementaires. L'un de ses outils majeurs, le Cacoh (Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages Hydrauliques), contribue à donner à CNR des longueurs d'avance sur certains chantiers.

La création en 1936 du laboratoire d'hydraulique du Cacoh a été décidée pour étudier et valider la conception hydraulique des ouvrages hydroélectriques et de navigation du Rhône à l'aide de modèles réduits phy-

siques. Ce laboratoire s'est ensuite enrichi de nouvelles compétences autour des activités de mesure, surveillance et contrôle.

Son expertise est régulièrement mise au service de projets internationaux réalisés par EXPER N'CO pour le compte de clients externes.

Le centre a réalisé sa première modélisation en 1948 avec le barrage de Génissiat (Ain). Il a récemment bâti quatre modèles réduits d'écluse : Crémone (Italie), Vallabrègues (Gard), ainsi que Chautagne et Belley (Ain).

Basé sur le port de Lyon, le Cacoh emploie 50 ingénieurs, techniciens et chefs de projets de différentes spécialités : métrologie, hydrométrie, hydrographie, topographie, hydraulique, sédimentologie, génie civil, géotechnique, hydro-électromécanique.

Au sein du Cacoh, le laboratoire de modélisation physique poursuit une mission bien précise : concevoir, optimiser et valider des solutions techniques répondant à des problématiques hydrauliques complexes, en réalisant des modèles physiques hydrauliques qui représentent, à partir de maquettes à grande ou petite échelle, les écoulements en charge ou à surface libre.

CNR dispose d'un patrimoine exceptionnel avec 50 barrages, écluses, usines hydroélectriques et 400 km de digues. Elle consacre 20 millions d'euros par an pour des opérations de réparation dont 40% pour les digues. À ce jour, elle n'a jamais été confrontée à une rupture de digue.

Outre des études de référence comme le pont ferroviaire sur la Garonne à Bordeaux, la remise en service des bassins d'écrêtement de la Savoureuse, l'écluse de Crémone sur le Pô, le Cacoh a été impliqué directement dans deux phases du projet pharaonique d'élargissement du canal de Panama et de la construction de deux nouvelles écluses de très grande dimension.



1

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

BASSIN MIRABEAU - GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE DE LA MODÉLISATION 3D À LA RÉALISATION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

AUTEURS : HASSAN FARHAT, DIRECTEUR TECHNIQUE, ARCADIS - CHRISTINE MORLOCK, CHEF DE PROJET, ARCADIS

LE DÉVELOPPEMENT ACTUEL DU PROCESSUS BIM EST LARGEMENT CONNU DES ARCHITECTES, DES INGÉNIEURS STRUCTURES ET DES INGÉNIEURS RÉSEAUX. L'INTÉGRATION DE LA GÉOTECHNIQUE DANS CE PROCESSUS BIM FAIT PARTIE DES OBJECTIFS DES GÉOTECHNICIENS COMPTE TENU DE L'IMPORTANCE DE CETTE DISCIPLINE DANS LA MAÎTRISE DES RISQUES ET INCERTITUDES. EN PARALLÈLE À CE DÉVELOPPEMENT DU BIM, LES MODÉLISATIONS PAR CALCULS AUX ÉLÉMENTS FINIS EN 3D CONSTITUENT UN AXE DE DÉVELOPPEMENT IMPORTANT. L'INTERCONNEXION ET L'INTEROPÉRABILITÉ DE CES DEUX DISCIPLINES APPORTERA UN PROGRÈS NOTABLE POUR LE MÉTIER DE GÉOTECHNICIEN.

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de remblaiement du Bassin Mirabeau au sein des bassins Est du Grand Port Maritime de Marseille (GPMM), Arcadis, maître d'œuvre, a utilisé la modélisation 3D pour estimer les volumes des terres et définir les quantités à déplacer en fonction du phasage des travaux et des exigences du maître d'ouvrage et pour réaliser un modèle géologique en 3D pour mieux appréhender les problématiques géologique et géotechnique.

LE PROJET

Le projet correspond au comblement du bassin Mirabeau situé dans l'enceinte du Grand Port Maritime de Marseille. Ce bassin, ouvert à l'origine, a été, au fur et à mesure des années, fermé par une digue, partielle puis totale, et a été comblé par des déblais provenant des dragages d'entretien des bassins de Marseille. Les figures 2a, 2b, 2c et 2d montrent l'évolution du bassin au cours des années.

1- Vue générale du projet de remblaiement.

1- General view of the backfilling project.

Cette zone a été remblayée afin de recevoir un projet industriel défini à l'issue d'un appel à projet. Le projet retenu est la création d'une plateforme

destinée à accueillir un chantier naval de maintenance et de réparation de méga-yachts (de 90 à 130 m) et de navires spécialisés.

LA MODÉLISATION 3D

Dans le cadre du développement des modélisations en 3D et du BIM, ce projet a été retenu, offrant la possibilité d'appliquer ce type de modélisations aux données géotechniques, d'une part, et à la simulation des terrassements, d'autre part.



2a

2002



2b

2008



2c

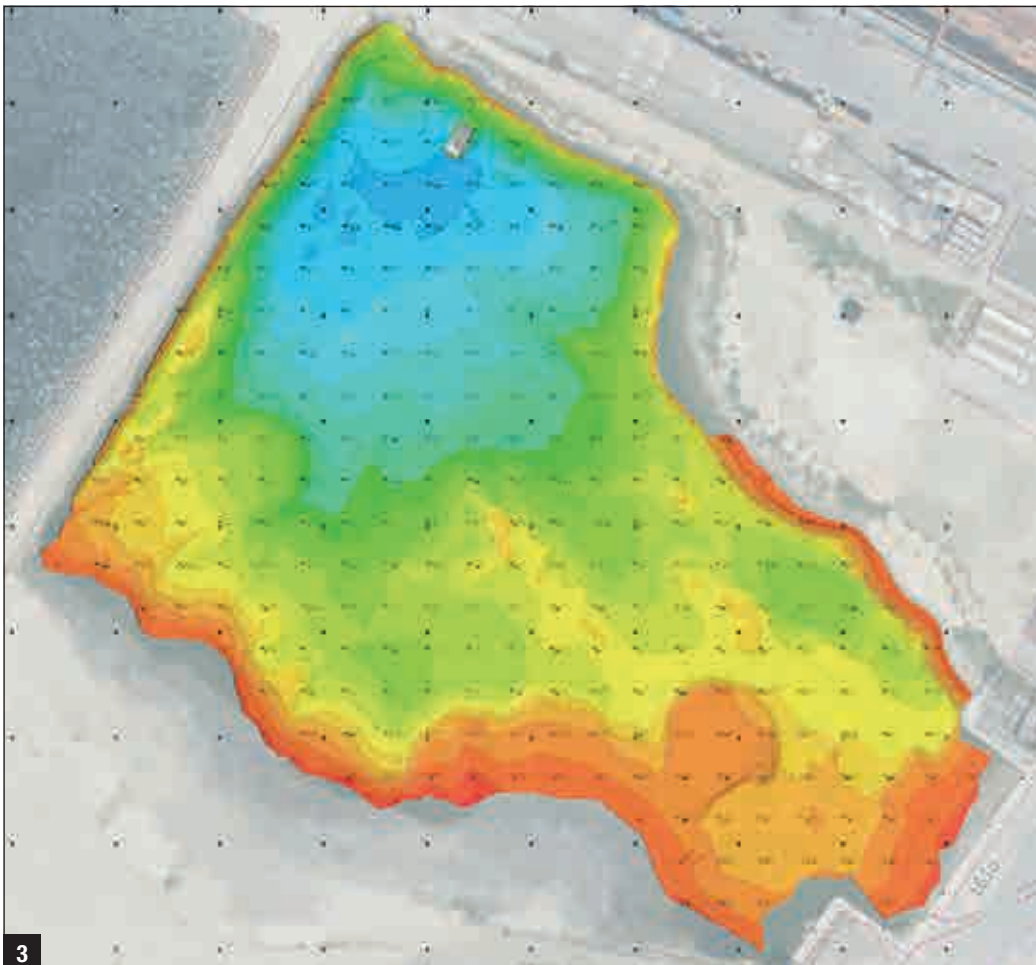
2015



2d

2017

© GOOGLE EARTH



3

© ARCADIS

2a, 2b, 2c & 2d- Situation du projet et évolution du bassin entre 2002 et 2017.
3- Plan bathymétrique de 2018 utilisé pour établir la maquette.

2a, 2b, 2c & 2d- Project location and development of the dock between 2002 and 2017.
3- 2018 bathymetric plan used to establish the model.

Cette démarche fait partie d'un axe de développement actuel qui consiste à automatiser les saisies des données géotechniques dans des logiciels de dessin géotechnique qui permettent d'élaborer des modèles géotechniques en 3D avec des bases de données complètes sur les caractéristiques des terrains.
Ces modèles peuvent, par la suite, être utilisés dans les définitions des phasages de travaux et le calcul des cubatures.

4- Plan 2D issu de la modélisation 3D pour la phase 1.

5- Plan 2D issu de la modélisation 3D pour la phase 2.

4- 2D plan resulting from 3D modelling for phase 1.

5- 2D plan resulting from 3D modelling for phase 2.

Un autre objectif de ces modèles, pas encore totalement développé, sera de pouvoir automatiser les calculs par la méthode aux éléments finis en transférant ces modèles directement vers des logiciels de calcul type Éléments Finis 3D.

APPLICATION AU PROJET DU BASSIN MIRABEAU - ÉLABORATION DU MODÈLE 3D

Dans un premier temps, il a été nécessaire de construire une maquette numérique et d'y intégrer les données topographiques actuelles du site (sur la base de la bathymétrie pour les parties immergées et d'un relevé topographique pour les parties terrestres) ainsi que des données géologiques recueillies à partir des sondages réalisés sur site dans le cadre de plusieurs campagnes de reconnaissance (figure 3).

Le logiciel choisi pour cette modélisation est Civil 3D.

Les matériaux présents dans le bassin étaient des remblais de nature principalement sableuse, limoneuse et argileuse de très faible consistance. Sur les plateformes hors d'eau étaient stockés des matériaux plus nobles constitués principalement de béton concassé.

Ces types de matériaux ont été modélisés distinctement dans la maquette numérique.

Dans un deuxième temps, le travail de modélisation a consisté à définir les volumes de terrassements en déblais-remblais pour chacune des phases qui avaient été préalablement définies avec la maîtrise d'ouvrage et qui tenaient compte :

→ De l'intégration du planning de libération des emprises, certaines zones ne pouvant pas être terrassées dans cette phase de terrassement (quai 161a par exemple) ;



4

© ARCADIS



5

© ARCADIS

- De la nécessité de laisser en eau certaines zones afin de pouvoir y déposer un certain volume de matériaux de dragage ;
- De la nature des matériaux : remblais fins peu consistants et remblais granulaires ;
- Du projet final avec un zonage selon les charges futures et les objectifs de portance finale.

L'objectif était d'équilibrer les volumes de déblais-remblais tout en ayant un niveau fini pas trop haut, afin de pouvoir par la suite mettre en œuvre des matériaux de remblai de meilleure qualité pour améliorer la portance finale de la plateforme.

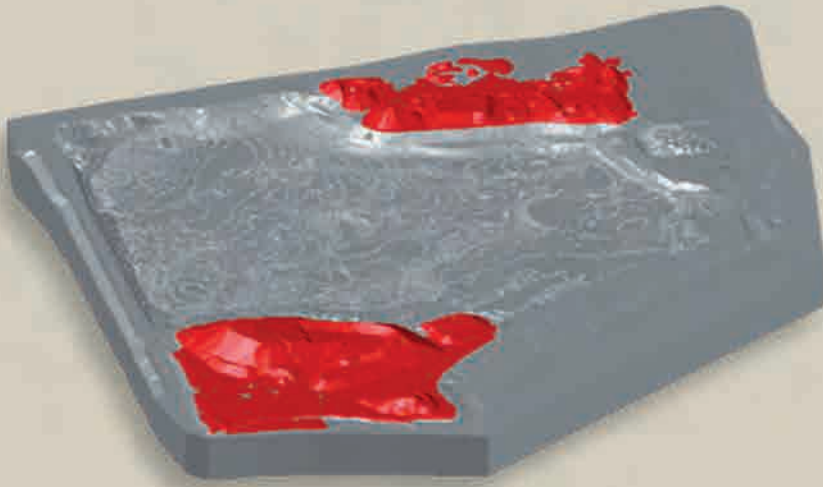
La cote d'équilibre ainsi obtenue était autour de -0,25 CM. Des casiers ont été aménagés dans la partie Sud du

projet pour accueillir les matériaux de dragage.

Les matériaux granulaires de meilleure qualité ont été mis en œuvre au-dessus de -0,25 CM afin de sortir la plateforme de l'eau.

Les figures 4 et 5 montrent des exemples de sorties que l'on peut réaliser à partir de la modélisation 3D : il s'agit de plans topographiques 2D, chaque

VISUEL DE LA MODÉLISATION 3D DE LA PHASE 1



6- Visuel de la modélisation 3D de la phase 1.

7- Visuel de la modélisation 3D de la phase 2.

8- Visuel de la modélisation 3D de la phase 3.

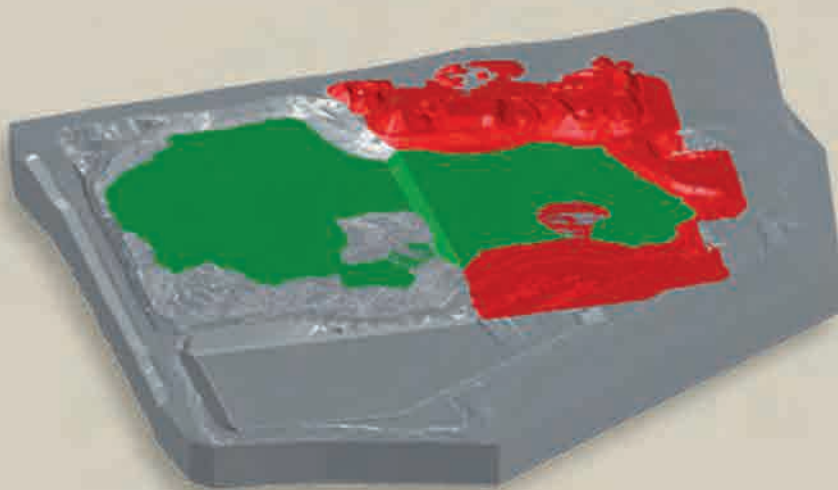
6- Illustration of 3D modelling of phase 1.

7- Illustration of 3D modelling of phase 2.

8- Illustration of 3D modelling of phase 3.

© ARCADIS
6

VISUEL DE LA MODÉLISATION 3D DE LA PHASE 2



sortie représentant une phase de terrassement. On y retrouve les principales informations : les volumes de déblais, le type de matériau et la cote finie de la zone remblayée.

L'usage du BIM a permis de simuler les mouvements de terre afin d'optimiser les volumes et déplacements nécessaires.

Les documents graphiques (figures 4 et 5) sont préparés directement depuis la maquette (figures 6, 7 et 8) sans incohérence entre eux.

APPLICATION AU PROJET DU BASSIN MIRABEAU - EXÉCUTION DES TRAVAUX

Une fois la modélisation réalisée, le passage défini et les volumes équilibrés, les travaux de terrassement se sont déroulés sur deux périodes de septembre à novembre 2019 puis de novembre 2020 à mars 2021.

La première phase a consisté à remblayer la partie centrale avec les matériaux situés en bordure de fouille dans le but d'atteindre dans la zone Sud la cote de $-0,25$ CM (figures 9, 10 et 11) afin de pouvoir utiliser les bétons concassés présents sur site (figure 10). La mise en œuvre des matériaux fins s'est faite avec une pelle long bras en bord de fouille et équipé d'un système GPS pour vérifier la cote finie.

Une fois ce stock mis en œuvre dans la fouille (figure 12) et l'espace libéré, les terrassements ont repris dans cette zone pour créer les bassins de stockage des matériaux granulaires (figure 13). Les matériaux granulaires ont été mis à l'avancement à l'aide d'un bull.

Les quantités estimées par la modélisation étaient très proches de celles issues des contrôles topographiques et bathymétriques réalisées par l'entreprise de terrassement en cours de chantier. ▷

© ARCADIS
7

VISUEL DE LA MODÉLISATION 3D DE LA PHASE 3



© ARCADIS
8



9

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

**9- Phase 1 -
nivellement
à -0,25 CM -
zone Sud.**

**10- Nivellement
à -0,25 CM -
zone Est.**

**11- Nivellement
à -0,25 CM -
zone Nord.**

**9- Phase 1 -
levelling at
-0.25 cm -
South area.**

**10- Levelling
at -0.25 cm -
East area.**

**11- Levelling
at -0.25 cm -
North area.**



10

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



11

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

Cependant des adaptations ont dû être réalisées en cours de chantier notamment en zone Nord où la maîtrise d'ouvrage a différé le terrassement de cette zone. Ainsi un déficit en matériau a été observé ce qui a nécessité de faire venir des matériaux d'apport extérieur : dans un premier temps des matériaux de recyclage (béton concassé) puis des matériaux granulaires.

Un autre point a entraîné une surconsommation de matériaux granulaires : le poinçonnement des vases en zone Sud-Est.

En effet dans cette zone la portance de ces matériaux est trop faible pour pouvoir permettre la circulation des engins de chantier.



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

12



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

13

12- Déchargement des matériaux granulaires issus des stocks sur site.

13- mise en œuvre de matériaux granulaires.

12- Unloading granular materials coming from stocks on site.

13- Placing granular materials.

Ainsi il a fallu réaliser un passage en force avec la mise en place d'une forte épaisseur de matériaux granulaires et ainsi clouter le fond de fouille pour assurer la portance. Cette technique a généré une surconsommation de matériaux granulaires.

En l'absence de source d'approvisionnement en interne, des maté-

TABLEAU 1 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES VOLUMES

Type de matériaux	Quantité estimée	Quantité réelle	Différence
Déblais divers	80 000 m ³	62 000 m ³	18 000 m ³
Béton concassé	13 200 m ³	10 000 m ³	3 200 m ³
Matériaux d'apport	14 800 m ³	34 200 m ³	-19 400 m ³
Total	108 000 m³	106 200 m³	1 800 m³

riaux extérieurs ont été apportés. Mais aussi une piste a dû être créée le long de la digue existante en béton concassé, pour un volume d'environ 4 300 m³.

Le bilan des volumes est résumé dans le tableau 1.

On notera un volume de terre excavées moins élevé que prévu dû aux adaptations en cours de chantier, ce qui a entraîné un volume plus important de matériaux d'apport.

La modélisation 3D a été satisfaisante au stade de la conception : les volumes globaux ont été bien estimés, leur répartition a été toutefois modifiée en cours de chantier compte tenu des adaptations de phasage, ce qui a rendu

le chantier déficitaire en matériaux et a nécessité d'apporter des matériaux extérieurs.

APPLICATION AU PROJET DU BASSIN MIRABEAU - TRAITEMENT DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

L'autre avantage d'une modélisation 3D est de pouvoir intégrer des données géotechniques, préalablement saisies sous le logiciel de gestion des données gINT (Bentley), puis transférées vers Civil 3D par l'intermédiaire d'Autocad.

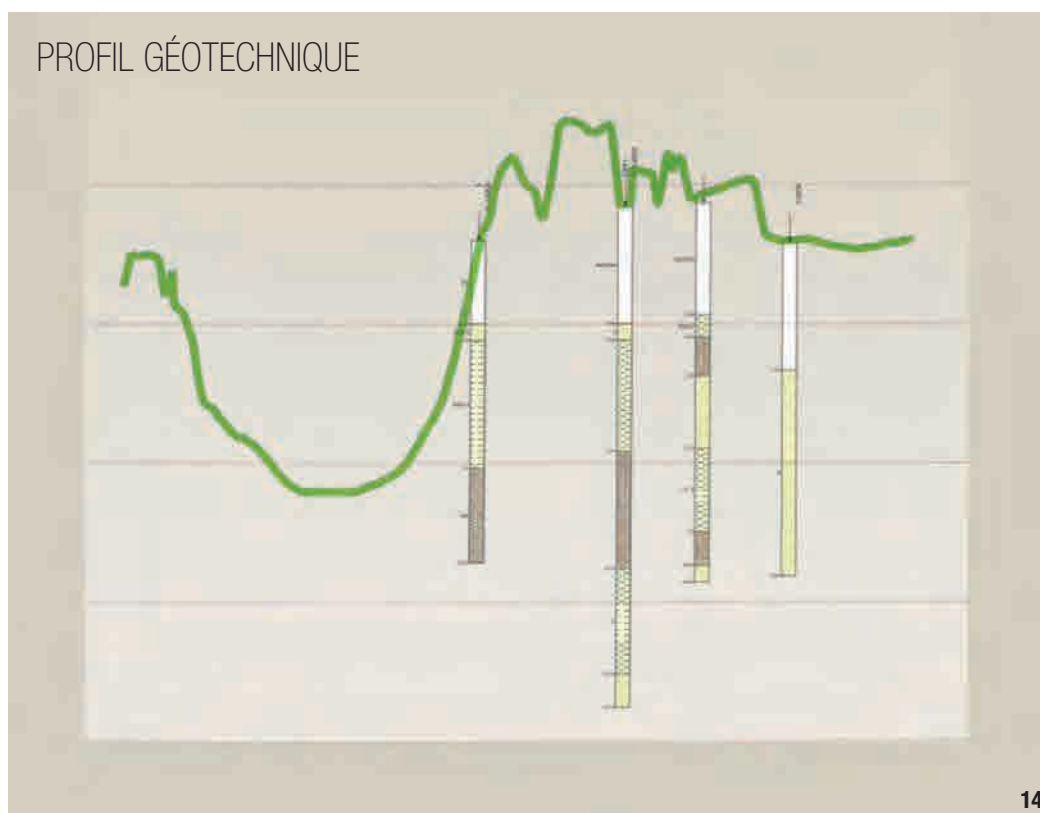
Les rendus graphiques (figure 14) sont alors des profils géotechniques intégrant le niveau topographique de la phase retenue ainsi que les coupes géotechniques.

CONCLUSION

La modélisation 3D sous Civil 3D a été un outil bien adapté à la problématique du chantier et a permis de concevoir un projet fiable en termes de quantité de déblais-remblais et pouvant être mis à jour très rapidement au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Cette modélisation sera aussi utile pour la suite du projet car elle permettra de visualiser la géologie en tout point du site et d'établir tous les profils géotechniques utiles pour les études de consolidation et de renforcement qui seront menées.

D'autres possibilités sont aujourd'hui ouvertes pour la gestion des données et leur intégration dans un système de modélisation 3D et BIM avec des passerelles entre les différents logiciels dont ceux de calcul aux éléments finis.



14

© ARCADIS

PRINCIPALES QUANTITÉS

MATÉRIAUX DIVERS EN DÉBLAIS-REMBLAIS : 62 000 m³
MATÉRIAUX EN BÉTON CONCASSÉS DU SITE : 10 000 m³
MATÉRIAUX D'APPORT : 34 200 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Grand Port Maritime de Marseille
MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis
ENTREPRISES : Buesa et TP Spada

14- Profil géotechnique.

14- Geotechnical profile.

Sur un autre registre, la disponibilité du modèle 3D pour les besoins de communication et d'échanges entre intervenants est un avantage non négligeable. □

ABSTRACT

MIRABEAU DOCK - GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE FROM 3D MODELLING TO PERFORMANCE OF EARTHWORKS

HASSAN FARHAT, ARCADIS - CHRISTINE MORLOCK, ARCADIS

Following a general description of the context of the Mirabeau dock filling project in Marseille, the article discusses the development of a 3D model under the Civil 3D software. This model incorporates the site's topographic data (bathymetry, natural ground level above the water) and also geotechnical data by entering reconnaissance surveys. This model made it possible to study various scenarios or work sequencing for filling the dock, taking into account the quality of the available materials and the post-filling stratigraphic objectives. The model was able to determine the various volumes involved depending on the work sequencing. For performance of the earthworks and filling works, adaptations had to be made concerning the source of the granular materials to be put in place on the land surface. □

DÁRSENA MIRABEAU - GRAN PUERTO MARÍTIMO DE MARSELLA DE LA MODELIZACIÓN EN 3D A LA REALIZACIÓN DE LAS OBRAS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

HASSAN FARHAT, ARCADIS - CHRISTINE MORLOCK, ARCADIS

Tras una presentación general del contexto del proyecto de relleno de la dársena Mirabeau en Marsella, el artículo aborda la elaboración de un modelo en 3D mediante el programa Civil 3D. Este modelo integra los datos topográficos del emplazamiento (batimetría, nivel del terreno natural por encima del agua), así como los datos geotécnicos mediante la introducción de los sondeos de reconocimiento. Este modelo ha permitido estudiar distintos escenarios o fases del relleno de la dársena, teniendo en cuenta la calidad de los materiales disponibles y los objetivos de estratigrafía tras el relleno. Asimismo, ha permitido determinar los diferentes volúmenes a tratar en cada fase de ejecución. Para la realización de las obras de movimiento de tierras y relleno, se han precisado adaptaciones en relación con la procedencia de los materiales granulares utilizados para cubrir la superficie del terreno. □



1
© INGEROP

REMPACEMENT DU PONT MOBILE DE SAINT-MALO

AUTEURS : ALEXANDRE NEDELEC, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - THOMAS EYNAUD, INGÉNIEUR CHARPENTE MÉTALLIQUE, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - ADRIEN SALMON, DIRECTEUR D'AGENCE, GTM OUEST - PASCAL FRETAUD, RESPONSABLE SERVICE PROJETS, COMETE-J PARIS

LE PONT MOBILE DE SAINT-MALO EST UN OUVRAGE STRATÉGIQUE POUR LA CIRCULATION ROUTIÈRE, PIÉTONNE ET MARITIME DE LA VILLE ET DU PORT. LES DIAGNOSTICS EFFECTUÉS SUR L'OUVRAGE EXISTANT ONT RÉVÉLÉ UN ÉTAT DE DÉGRADATION AVANCÉ. LA RÉGION BRETAGNE A DÉCIDÉ DE LE REMPLACER PAR UN PONT TOURNANT À SIMPLE VOLÉE. LA ROTATION À 84° SUR SON PIVOT PERMET ALTERNATIVEMENT LE PASSAGE DES NAVIRES DANS LE PERTUIS, PUIS LA LIAISON ENTRE INTRAMUROS ET LA GARE POUR AUTOMOBILISTES ET MODES DOUX.

LE CONTEXTE DU PROJET

Le pont existant est un pont basculant à deux volées, mis en place en 1950. L'environnement marin agressif a entraîné une corrosion accélérée de la structure métallique des volées.

Par ailleurs, le rectangle gabarit de navigation de l'ouvrage existant en position ouverte est engagé car les volées n'atteignent plus leur position théorique verticale (figure 2).

La Région Bretagne a décidé de remplacer ce pont par un nouvel ouvrage tournant à simple volée (figure 1) positionné côté gare.

Les travaux ont été réalisés dans le cadre d'un marché de Conception

1- Ouvrage en position ouverte à la circulation routière.

1- Bridge in position open for road traffic.

Réalisation par un groupement constitué de : Gtm Ouest (mandataire, réalisation du génie civil), Comete-J Paris (co-traitant, réalisation de la charpente métallique et des mécanismes), Ingerop (cotraitant, conception) et B+M (cotraitant, architecte).

Le marché comporte les principales phases suivantes :

- L'installation d'une passerelle mobile provisoire pendant la durée des travaux ;
- La réparation et l'injection des maçonneries des bajoyers existants ;
- La déconstruction de l'ouvrage existant ;
- La construction du nouvel ouvrage et de son poste de commande :
 - Fondations profondes,
 - Génie civil : Tablier Charpente métallique, Mécanismes et Automatismes ;
- La mise en œuvre de la supervision.

DESCRIPTIF DU PROJET

Ouvert à la circulation routière, le pont tournant à dalle orthotrope franchit la passe navigable de 18 m d'ouverture. Ouvert à la circulation maritime, le tablier est implanté dans une chambre (ou fosse) sur le terre-plein du bajoyer côté Est (figure 3).

TABLIER

Le tablier du pont, entièrement métallique, est composé de deux poutres principales reliées transversalement par des pièces de pont et d'une dalle orthotrope. Les trottoirs sont portés par des consoles de hauteur variable (figure 4).

La sous-face du pont est horizontale alors que la pente longitudinale de la chaussée est de 1 % en toit avec un point haut situé à l'axe du pivot.

La hauteur des poutres principales varie alors de 1,40 m aux abouts à 1,70 m au pivot, pour une répartition de matière optimisée.

Les platelages sous la chaussée et sous le trottoir sont raidis par des augets. Afin d'améliorer la résistance à la fatigue du platelage, les dispositions constructives définies dans l'annexe C de l'Eurocode 3-2 sont appliquées. Notamment, sous chaussée, la tôle du platelage a une épaisseur de 16 mm et est revêtue d'un complexe de chaussée d'épaisseur supérieure à 40 mm.

Le tablier a une largeur de 12,60 m pour une longueur totale de 44,50 m. Lorsque le tablier est ouvert à la circulation routière, il est appuyé sur 3 appuis (C0, P1 et C2) (figure 5).

Le tablier comporte alors deux travées : 22,00 m franchissant le puits ; 19,75 m permettant l'équilibrage du tablier.

MÉCANISMES ET ÉQUILIBRAGE

Pour l'ouverture à la navigation, le schéma statique du tablier est modifié. Deux vérins arrière soulèvent légèrement le tablier afin de permettre la rétractation des appuis de service.

Les vérins descendent ensuite pour que le tablier bascule vers l'arrière.



2 © REGION BRETAGNE - DCE

Le tablier vient alors se positionner sur trois appuis : un pivot et 2 boggies de galets arrière.

Sa partie avant (la volée) est en console sur une longueur de 30,50 m. Le basculement arrière est permis par les contre poids installés dans la partie arrière du tablier :

→ Un lest fixe en béton lourd de densité 3,5 t/m³ coulé dans le volume situé sous la chaussée entre les poutres principales ;

2- Ouvrage existant construit en 1950.
3- Vue en plan de l'aménagement.

2- Existing bridge built in 1950.
3- Plan view of the project.

→ Un empilement de lests amovibles métalliques de 25 kg chacun, positionnés sous les trottoirs à l'extrémité arrière du tablier permettant de régler plus finement l'équilibrage. Pour le passage des navires, le tablier effectue une rotation à 84° pour venir se loger dans sa fosse abritant les mécanismes de manœuvre (figure 6). L'ouvrage est commandé localement depuis un poste de commande situé en arrière de la fosse. Il est également



3 © INGEROP

pilotable à distance depuis le poste de l'écluse du Naye.

La durée totale de la manœuvre, depuis le début de la fermeture des barrières jusqu'à l'arrivée de l'ouvrage dans sa position chambrée, est de 3 minutes.

L'ouvrage dispose de plusieurs modes d'alimentation : mode normal en régime IT, alimentation de secours de la commande par onduleur, alimentation de secours par un groupe électrogène en cas de perte prolongée de l'alimentation principale afin d'avoir une continuité de service.

4- Coupe transversale - vue gauche sur appuis / vue droite à l'axe pivot.

5- Coupe longitudinale.

4- Cross section - left-hand view over supports / right-hand view toward pivot axis.

5- Longitudinal section.

GÉNIE CIVIL

Côté Ouest, la culée C0 se situe à l'emplacement de l'ancienne culée creuse. La semelle est fondée sur deux files de micropieux qui traversent le radier de la culée creuse existante.

Côté Est, un radier général d'épaisseur 80 cm sous la travée P1-C2 du tablier permet la reprise des appuis de service, des appuis de manœuvre (le pivot et les galets). Il repose sur un ensemble de pieux et de micropieux.

L'espace libre entre la sous-face des poutres du tablier et le dessus du radier dans cette zone est de l'ordre

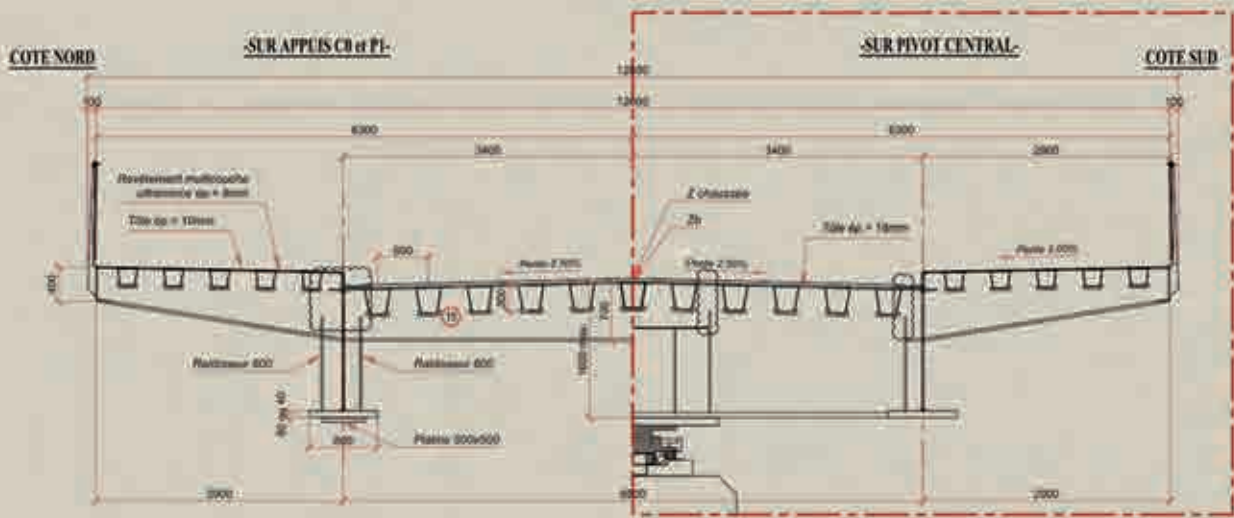
de 1,40 m ce qui permet de circuler aisément pour des opérations de maintenance ou d'inspection.

Toute la zone de fosse est délimitée par un muret en béton armé surmonté d'un garde-corps de sécurité. L'accès à cette fosse pour des opérations de maintenance ou de visite s'effectue par un escalier sécurisé par un portillon.

POSTE DE COMMANDE

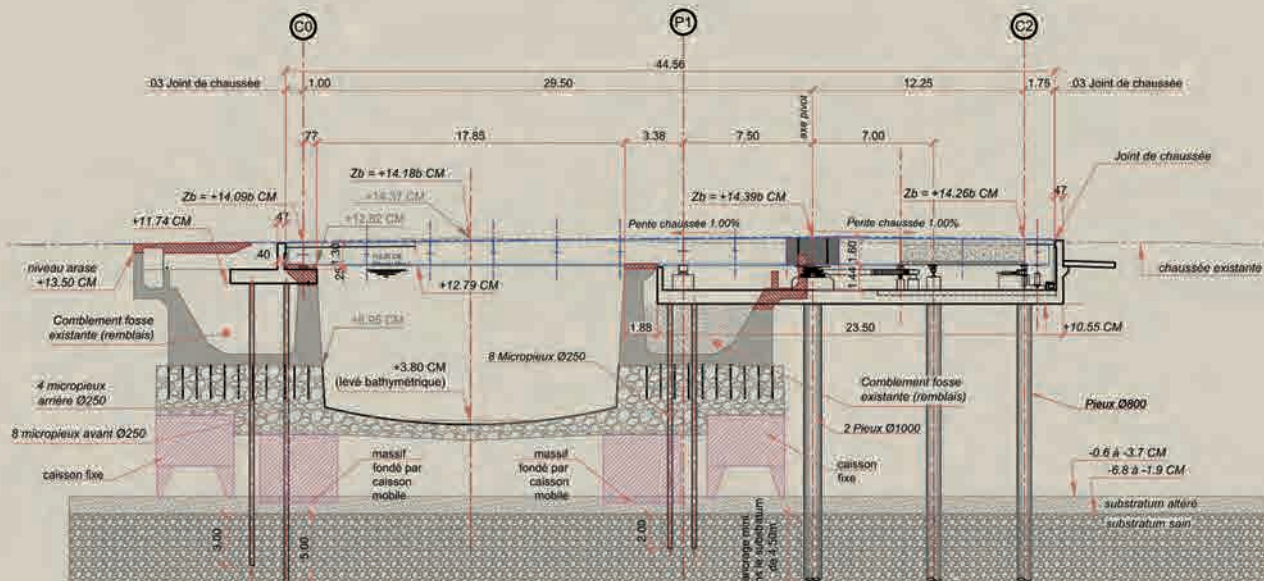
De forme circulaire, la vigie se présente comme une tour ouverte sur le port à 360°.

COUPE TRANSVERSALE - VUE GAUCHE SUR APPUIS / VUE DROITE À L'AXE PIVOT



© INGEROP
4

COUPE LONGITUDinale



© INGEROP
5

Les vitrages sont bombés et liés par joints souples. Le débord de toiture forme un brise-soleil à tous les azimuts (figure 7).

Le local est composé de deux niveaux :
 → Un RDC regroupant l'ensemble des équipements techniques nécessaires au fonctionnement du pont ;
 → Un étage accueillant la vigie qui permet la commande locale du pont mobile depuis un pupitre équipé.

LES CONTRAINTES TECHNIQUES

Les problématiques techniques liées au projet sont multiples. Nous en présentons les principales :

BASCULEMENT DU TABLIER

Lors de la manœuvre de basculement, la flèche à l'extrémité avant du tablier est relativement importante puisqu'elle est d'environ 36 cm. Le positionnement des différents appuis et la course des vérins doivent être convenablement ajustés pour que les éléments ne rentrent pas en contact lors de la manœuvre et pour que le décollement des appuis de service soit physiquement possible. Le calcul des déformées du tablier lors des différentes phases de manœuvre a permis de définir la position des boogies et la course minimum des vérins arrière (figure 8).

RÉSISTANCE À LA FATIGUE

Les appuis du tablier lors des phases de manœuvre sont différents des appuis de service routier. Cela permet d'améliorer la durabilité des mécanismes. Cependant, le changement de schéma statique du tablier induit d'importantes variations de contraintes dans la charpente qu'il est nécessaire de prendre en compte pour vérifier la résistance à la fatigue du tablier.

Les justifications de résistance à la fatigue des poutres principales sont alors réalisées à l'aide de la méthode du cumul de l'endommagement. En s'appuyant sur la loi de Palmgren-Miner, elle permet d'ajouter les dommages causés par les manœuvres du pont et par la circulation des poids lourds. L'étude a permis de confirmer que le tablier peut accepter un nombre de manœuvres supérieur au nombre de celles qu'il effectuera ces 100 prochaines années.

FONDACTIONS PROFONDES AU TRAVERS DES OUVRAGES EXISTANTS

La typologie de fondations a été choisie en fonction du contexte et des charges. Des pieux de diamètre 1000 mm ont



6
© INGEROP

été disposés dans les zones à forte descente de charges.

Des micropieux de diamètre 250 mm ont été retenus au droit des culées creuses existantes, compte tenu de la présence du radier de la culée existante difficile à traverser pour des pieux en béton. Les micropieux ont été positionnés pour échapper à la présence d'un caisson métallique existant dans le sol. Des recherches d'archives complétées par des sondages de reconnaissances des ouvrages existants ont permis de valider l'implantation de ces ouvrages.

UNE PASSERELLE PROVISOIRE

Implantée à 40 m environ de l'axe du nouveau pont routier, une passerelle a été mise en place par Comete-J Paris

6- Fosse abritant les mécanismes lors du basculement arrière du tablier.

7- Poste de commande.

6- Pit housing the machinery during deck tilting to the rear.

7- Control station.

afin de maintenir la circulation piétonne (y compris PMR) et cycliste pied à terre, pendant la durée des travaux (figure 9). L'ouverture à la navigation est réalisée

par la translation de la passerelle roulante de longueur 32,0 m équilibrée par contrepoids additionnel, ce qui a été permis par la légèreté de sa structure tubulaire aluminium. Elle a été motorisée pour assurer des manœuvres régulières avec sécurité et facilité, et ce par un seul opérateur du port.

LES MÉTHODES ET CONTRAINTES DE RÉALISATION

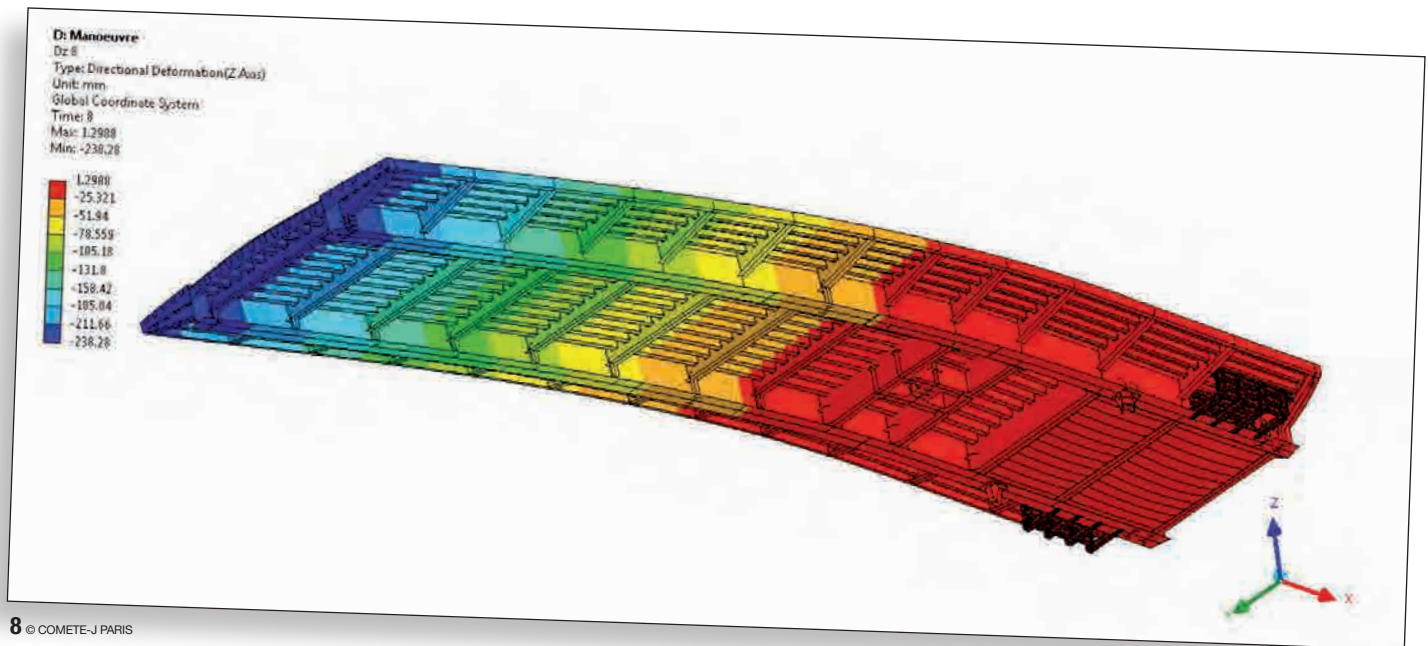
D'importants travaux de dévoiement de réseaux ont été effectués au préalable pour déporter les réseaux concessionnaires en dehors de la zone de fosse d'effacement de l'ouvrage.

TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Des travaux d'injections des maçonneries ont été menés pour renforcer les bajoyers avant la construction de l'ouvrage. Deux lignes d'injection espacées de 3 m et disposées en quinconce ont été effectuées de part et d'autre du pertuis, sur une profondeur variable de 12 à 13,50 m pour couvrir un linéaire de 80 m de bajoyers. La formulation du coulis a été adaptée aux vides présents dans la maçonnerie et la pression d'injection a été ajustée à 2 bars. Les volumes d'injections sont variables suivant les zones. 80 % du volume de coulis a été injecté dans le bajoyer côté Intramuros le plus dégradé. Par ailleurs, un rejointoiement des zones dégradées des maçonneries a été réalisé avec une partie aérienne et une partie subaquatique par plongeurs.



7
© INGEROP



8 © COMETE-J PARIS

La première opération majeure qui a suivi est la déconstruction de l'ouvrage existant. Gtm a déposé les revêtements de pont et les équipements afin de réduire au maximum les charges. Ensuite, chacune des volées a été découpée sur site par chalutage. Certaines parties béton des culées existantes en interface avec le futur ouvrage ont été sciées. Pour les opérations suivantes, la contrainte majeure a été le niveau d'eau dans le port, niveau qui est fixé en moyenne à 12,30 CM (cote marine).

8- Déformée sous poids propre en manoeuvre.
9- Passerelle provisoire rétractable.

8- Strain under dead weight during manoeuvring.
9- Retractable temporary foot bridge.

En concertation avec la capitainerie du port, le niveau a pu être abaissé sur une période de quelques semaines à 10,50 CM, puis 11,50 CM afin de limiter les venues d'eaux vers la plateforme du radier principal dont l'arase inférieure est à 10,55 CM.

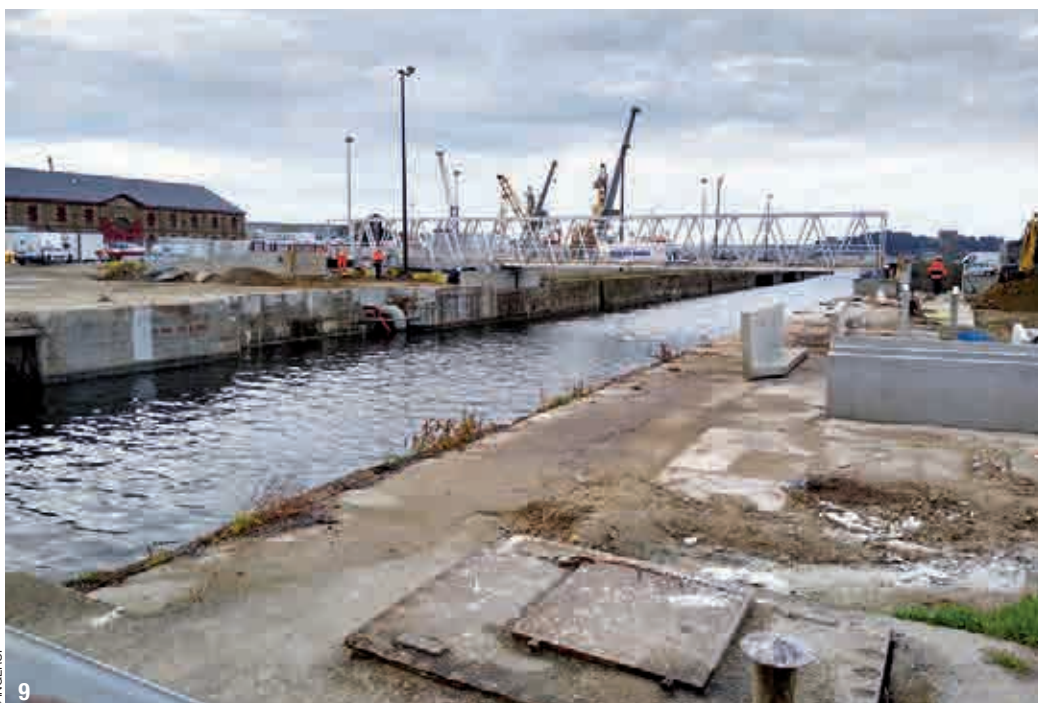
Les opérations de terrassement ont consisté principalement au déblai des matériaux des quais pour atteindre la cote de la plateforme de forage des pieux, fixée à 11,50 CM pour obtenir la portance nécessaire pour la praticabilité par la foreuse des pieux.

13 pieux de diamètre 1000 mm et de longueur 14,5 à 17 m ont été réalisés pour supporter le radier principal (figure 10).

Au droit des culées existantes, afin de pouvoir traverser le radier, le principe suivant a été adopté afin de garantir la bonne exécution des micropieux : carottage du radier existant en diamètre 400 mm sans retirer la carotte, mise en place de tubes piézométriques scellés au radier, remblaiement intérieur de la culée creuse entre les tubes, retrait des carottes, exécution des micropieux depuis la tête du remblai (figure 11). 22 micropieux de type II ont ainsi été réalisés sur une profondeur variable de 26,50 m à 28,75 m. Un tubage définitif a été mis en place pour neutraliser les frottements négatifs des anciens bajoyers.

Ensuite, les travaux de coffrage et ferrillage du radier principal ont été effectués sous le niveau d'eau du port, à l'abri de bajoyers partiellement étanches. Le coulage des 390 m³ du radier principal a été réalisé en une seule phase, avec une attention particulière portée aux formes de pentes pour l'évacuation des eaux de fond de fosse. La formulation des bétons a été étudiée pour ce contexte agressif présentant des chlorures et sulfates. Le ciment entrant dans leur constitution est de type CEM III PMES.

Pour respecter le planning, le poste de commande a été réalisé en parallèle du génie civil. La vigie constituée d'une structure métallique de type portique sur 3 pieds a été réalisée par éléments en atelier puis assemblée sur site. ▹



© INGEROP



10

© ERIGE

TRAVAUX DU TABLIER ET DES MÉCANISMES

L'ensemble du tablier a été fabriqué, mesuré et testé en usine afin de limiter au strict minimum les soudures et la peinture sur site (figure 12).

La protection anticorrosion de type C5-M a été appliquée dans un atelier dédié aux opérations de mise en peinture.

Sur les trottoirs, un revêtement multicouche ultramince (8 mm d'épaisseur) a été appliqué en atelier.

La fabrication des mécanismes en atelier s'est déroulée en parallèle du tablier : pivot, galets, appuis de services, vérins de calage, amortisseurs. Les armoires abritant des équipements électriques et des automatismes ont également été prémontées et testées en atelier.

Le transport par voie maritime de Rotterdam au port de Saint-Malo et la mise en place du tablier sur site ont été des étapes majeures du projet à gérer notamment du fait d'une météo capricieuse.

L'imposante barge équipée d'une grue de forte capacité a été mise en place au plus près du bajoyer.

Le tablier de 217 t a été soulevé pour échapper au poste de commande en construction (figure 13). Il a ensuite été descendu avec une précision millimétrique sur son pivot.

Une collaboration étroite entre la Région Bretagne, les services du port de Saint-Malo, et les entreprises a permis de préparer et de réaliser cette opération en six heures, en limitant les contraintes d'exploitation du port.

10- Fondation du radier et du poste de commande.

11- Mise en place des tubes piézométriques dans le remblai des culées.

12- Fabrication du tablier en usine.

10- Foundation of the raft and control station.

11- Placing piezometer tubes in position in the backfill of the abutments.

12- Deck manufacture in factory.

Le caisson métallique situé à la contre-voilée de l'ouvrage a ensuite été rempli du béton de lest via des réservations dans le platelage (tapes). Ces tapes ont ensuite été soudées afin de reconstituer la continuité du platelage et garantir l'étanchéité du caisson.

Le revêtement de chaussée est constitué d'un complexe d'étanchéité et d'un enrobé d'épaisseur 50 mm.

L'enrobé a été spécialement formulé avec un bitume à base de liants modifiés par des polymères pour assurer une forte cohésion, une élasticité importante, et assurer une plage de températures de service élevée.

Une fois l'ensemble des équipements mis en œuvre sur le tablier, Comete-J Paris a procédé au réglage de l'équilibrage à l'aide de lests amovibles en acier.



11

© INGEROP



12

© COMETE-J PARIS



13

© COMETE-J PARIS

Le calage altimétrique des appuis de service et de manœuvre est effectué à l'aide de cales de précision pour respecter les jeux prévus pour le fonctionnement de l'ouvrage.

13- Mise en place du tablier.

13- Placing the deck in position.

Aux abouts du tablier, le soufflé des joints de chaussée a été dimensionné pour accepter les rétractions/dilatations importantes subies par le platelage métallique sous l'effet des variations de température. Des tôles de blindage ont été réglées avec une précision millimétrique sur chacun des garde-grèves pour ménager un jeu entre le garde-grève et l'about du tablier, ceci en tenant compte des

conditions de température ambiante au moment du calage.

La programmation de l'automate a été réalisée de façon à coordonner l'ensemble des actionneurs et capteurs ainsi que l'ensemble de la supervision et ce, afin de pouvoir fonctionner en plusieurs modes : automatique, manuel, maintenance. Une campagne exhaustive de tests de fonctionnement a été réalisée. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

GÉOMÉTRIE DU TABLIER : 44,5 m de longueur, 12,8 m de largeur

MASSE DU TABLIER : 217 t de charpente métallique

ÉQUILIBRAGE : 200 t de lest fixe en béton baryté + 10 t de lest amovible en acier

INJECTIONS DES MAÇONNERIES : 48 forages soit 625 m au total, 14 300 L de coulis

FONDACTIONS : 13 pieux de Ø 1 000 mm, 22 micropieux type II Ø 250 mm

RADIERS, VOILES ET APPUIS GÉNIE CIVIL : 917 m³ de béton

MANŒUVRES : 1 600 cycles d'ouverture-fermeture du pont chaque année

TEMPS : 10 minutes d'attente à prévoir lors du passage d'un bateau

DURÉE DES TRAVAUX : 1 mois de déconstruction + 9 mois de travaux du nouvel ouvrage

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Région Bretagne

AMO : Ioa, Aei, Suez

GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION :

Gtm Ouest (mandataire, Génie civil), Comete-J Paris (co-traitant, charpente métallique et mécanismes), Ingerop (cotraitant, conception) et B+M (cotraitant, architecture)

ABSTRACT

REPLACEMENT OF THE MOVABLE BRIDGE IN SAINT-MALO

ALEXANDRE NEDELEC, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - THOMAS EYNAUD, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - ADRIEN SALMON, GTM OUEST - PASCAL FRETAUD, COMETE-J PARIS

The Brittany Region decided to replace the former Saint-Malo two-leaf bascule bridge due to its age. Under a Design and Build contract, the bridge was deconstructed and replaced with a new single-span swing bridge. In road service position, the steel deck rests on three rows of supports. To go into manoeuvring position, the bridge tilts slightly to the rear to come right up against its rotation pivot and two roller bogies. A retraction chamber consisting of a foundation raft founded on piles and micropiles receives the bridge after its rotation to allow the passage of shipping. The bridge was delivered in July 2021 after 10 months' work. □

SUSTITUCIÓN DEL PUENTE MÓVIL DE SAINT-MALO

ALEXANDRE NEDELEC, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - THOMAS EYNAUD, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - ADRIEN SALMON, GTM OUEST - PASCAL FRETAUD, COMETE-J PARIS

Ante la obsolescencia del antiguo puente basculante doble de Saint-Malo, la región de Bretaña decidió sustituirlo. En el marco de un contrato de diseño-realización, el puente fue deconstruido y sustituido por otro nuevo, de tipo giratorio de un solo tramo. En posición de servicio vial, el tablero metálico reposa sobre 3 filas de apoyos. Para pasar a posición de maniobra, la construcción bascula ligeramente hacia atrás para apoyarse en su pivote de rotación y dos boggies de rodillos. Una cámara de cierre de ángulo formada por una solera sustentada sobre pilotes y micropilotes recibe el puente tras su rotación para permitir el paso de los buques. El puente se entregó en julio de 2021 tras 10 meses de obras. □



1
© SMULDERS PHOTO LIBRARY

MORAY EAST, AN INDUSTRIAL CHALLENGE IN SCOTLAND, TO A TIGHT SCHEDULE

AUTEURS : LIEVEN VAN HILEGHEM, SENIOR PROJECT MANAGER, SMULDERS -
DAVID MUYLAERT, DEPUTY MANAGING DIRECTOR, SMULDERS -
BART VAN ROOY, SENIOR PROJECT MANAGER, SMULDERS

MORAY EAST IS THE OFFSHORE WIND FARM DEVELOPED OFF THE SCOTTISH COAST BY MORAY OFFSHORE WINDFARM EAST LTD (MOWEL), A JOINT VENTURE BETWEEN DIAMOND GREEN LIMITED (33.4%), EDPR (33.3%), ENGIE (23.3%) AND CTG (10%). THE WIND FARM, WITH A CAPACITY OF 950 MW, WILL COVER AN AREA OF 295 KM² AND PROVIDE ELECTRICITY FOR 950,000 FAMILIES. SMULDERS, A SUBSIDIARY OF EIFFAGE, BUILT 55 JACKETS FOR THIS PROJECT IN A JOINT VENTURE WITH DEME OFFSHORE, AND ALSO DELIVERED THREE OFFSHORE TRANSFORMER MODULES (OTMS) FOR SIEMENS. THE PROJECT WILL GO DOWN IN SMULDERS' HISTORY BOOKS AS 'SPECIAL ALL THE WAY' IN A POSITIVE SENSE.

July 2020. DEME - For this contract awarded in December 2018 for the design, fabrication and installation of 103 foundation substructures and the installation of 3 topside structures, meticulous management of every activity was crucial to meet the

deadline for this challenging project. Despite ongoing challenges due to the Covid-19 pandemic and a last-minute crane failure prior to the delivery of DEME's newbuild offshore installation vessel 'Orion', we completed installation of the first jacket on schedule.

**1- Smulders' yard
in Newcastle upon
Tyne, UK.**

**1- Le chantier
Smulders situé
à Newcastle upon
Tyne, Royaume-Uni.**

AN EXCITING START

After careful analysis by the client - which included a risk analysis on safety, quality and delivery reliability - the contract was awarded to DEME/Smulders. The design already existed, although some adjustments were nee-



© STUDIO FASE
2

2- Upper jackets sailing away from the Smulders' facility in Hoboken, Belgium.

3- The transition pieces, the top part of the jacket, were fabricated at the Smulders' facility in Balen, Belgium.

4- Loading of the upper jackets at the Navantia yard in Spain.

2- Parties hautes des chemises expédiées par mer à partir du site de Smulders situé à Hoboken en Belgique.

3- Les raccords de la partie haute des chemises ont été assemblés sur le site de Smulders situé à Balen en Belgique.

4- Embarquement des parties hautes des chemises au chantier Navantia en Espagne.

ded. Smulders became co-manager for design, which gave us an assurance that the jackets could go into production quickly. However, there was one major challenge: in order to deliver all the jackets within the tight contractual deadline, the production of a number of components had to be outsourced.

"If we wanted to meet the deadline, two jackets a week had to be assembled at the Smulders Projects UK yard in Newcastle," says acting Project Manager Lieven Van Hilleghem. "In Bel-

gium, however, we had the capacity to manufacture only one upper jacket per week, so we had to go elsewhere. 35 of the 55 upper jackets were eventually produced in Hoboken (figure 2) with parts supplied by other Smulders and Eiffage subsidiaries in Belgium, Poland and France, and by subcontractors from all over the world. The other 20 were manufactured by our Spanish subcontractor (figure 3). The lower jackets were built at our yard in Newcastle. In fact, the outside entities only did the less critical work."

A COMPLEX SUPPLY CHAIN

Indeed, all roads lead to success if you make clear agreements, work well together and stick to the schedule.

The team did great work, although the logistics was an exceptional undertaking.

Lieven: "We already have a large network of partners worldwide thanks to previous projects, although this time we also worked with new subcontractors. There was quite some distance to cover. Some pieces had to be brought over from South Korea, Croatia or

Lithuania, which was in fact quite exciting. In the end, however, we managed to put all the pieces of the logistical puzzle together."

In early March 2020, the first upper jackets arrived at our yard in Newcastle where they were fitted onto the lower jackets (figure 4). In December of the same year, the last jacket was completed. The jackets, each about 85 metres high and weighing 1,000 tonnes, were eventually transported and installed by DEME Offshore's Scylla. ▷



3
© CROSSING ZEBRA



4
© NAVANTIA PHOTO LIBRARY



5

© SMULDERS PHOTO LIBRARY

PROBLEMS IN SPAIN AND ELSEWHERE

Design, logistics, a very tight schedule - Smulders can certainly take a lot. We are not afraid of challenges. And then suddenly there was Covid-19. Would the schedule be disrupted? "We feared it would be for a while, because our Spanish subcontractor Navantia closed for two months," Lieven continues.

"That could have had an impact on our own yard and the end date, which could have been set back from December 2020 to February 2021. But this did not happen: production continued - in complete safety and with the resources at our disposal. By mathematical calculations, we were able to meet the timeline. This meant simulating, resequencing, bringing parts forward or moving them back, and setting priorities. That's how we eventually crossed the finish line on 9 December!"

TOGETHER WITH DEME

Smulders' representative in the DEME consortium was our Deputy Managing Director David Muylaert. He is always a key player with customers at the senior level, and he also paved the way for us within Moray East.

"We managed to establish a very workable cooperation with DEME. There were areas of tension, but we under-



6

© SMULDERS PHOTO LIBRARY

ABOUT THE JACKETS

The jacket is the steel foundation for the turbines of offshore wind farms. The foundations usually have three or four anchors set on the seafloor and are mainly used in offshore wind farms with water depths of between 30 and 35 metres.

stood each other and saw the different challenges from everyone's perspective - manufacturer, installer and (sub) contractors. We managed to meet each other during our collaboration, because today [early 2022] we still need to rely on each other for project finalisation. Kudos to the consortium for neatly completing production and installation,

despite Covid-19 and a crane accident on the ship. It was a very contract-oriented project, and we are always learning. We are becoming more and more professional and mature. As the group's management, we are proud of the performance of our project team and our production colleagues, in terms of both technology and mana-

5- The lower jackets were fabricated at the Smulders' facility in Newcastle upon Tyne, UK.

6- The upper jackets were assembled onto the lower jackets at the Smulders' facility in Newcastle upon Tyne, UK.

5- Les parties basses des chemises ont été assemblées sur le site de Smulders situé à Newcastle upon Tyne au Royaume-Uni.

6- Les parties hautes des chemises ont été montées sur les parties basses sur le site de Smulders situé à Newcastle upon Tyne au Royaume-Uni

gement. Collaboration, a constant search for solutions, communication with partners, monitoring of logistics: all this is very satisfying. We have produced a fine piece of engineering and we are proving that we have the capabilities to consolidate our position in the global market for offshore steel construction."



© SMULDERS PHOTO LIBRARY

7

7- The complete jackets were shipped from Newcastle upon Tyne to the offshore wind farm off the northeast coast of Scotland.

8- The three offshore transformer modules were fabricated at the Equans facility in Hoboken, Belgium.

7- Les chemises entières ont été expédiées de Newcastle upon Tyne vers le parc éolien en mer située au large de la côte Nord-Est de l'Écosse.

8- Les trois modules transformateur offshore ont été assemblés sur le site d'Equans situé à Hoboken en Belgique.



© SMULDERS PHOTO LIBRARY

8

MORE THAN JACKETS

Smulders also built three offshore transformer modules (OTMs) for Moray East for Siemens. Smulders was responsible for the design, production, blasting and painting of the modules. Our subcontractor ENGIE Solutions (now Equans) did the electrical package, outfitting and testing,

and Siemens supplied the high-voltage equipment. The OTMs connect the wind farm of 950 MW capacity to the UK electricity grid. DEME, the EPCI contractor for Moray East's turbine foundations and the three offshore substation foundations, was in charge of transport and installation of the OTM platforms.

The works for this section were performed simultaneously with the production of the jackets. Separate teams were appointed for this. The OTM design was provided by the customer. Smulders took over responsibility for this as we became the executing party and the design components proved correct.

SKIDDED-IN CONTAINERS

The OTM, which is significantly smaller in size and weight than conventional alternating current platforms, will transform the output of the wind turbines from 66 kV to the transmission voltage of 220 kV. Siemens Energy designed the OTM using a modular fabrication approach which saves cost and time for delivery. ▷

It also means the design can incorporate the specific needs of the developer. The switchgear needed to control the incoming and outgoing electrical circuits is housed in stainless steel containers which are constructed and installed on the platforms. Additionally, the power transformers are filled with synthetic ester rather than traditional oil, making them fire-resistant.

Smulders' Project Manager Bart Van Rooy says: "We produced the deck sections of the OTMs in smaller parts in our Belgian plants in Balen and Tessenderlo (figure 5) and then assembled them into a single unit and outfitted them at our site in Hoboken. This could be done outside, because an OTM consists of about five containers in which electrical outfitting takes place. The containers are then skidded into a steel module (figure 6). This approach is positive for scheduling: everything is done simultaneously instead of sequentially in series production."

Another source of value added: the client and operational teams were all working towards the same goal. Their attitude was 'we're going for it, we'll solve this', so challenges were tackled in good time and construction work continued at a good pace. "At a certain point, everyone started to get nervous," says Bart Van Rooy. "We were in the middle of the Covid pandemic and during the last six months we had to do the finishing work on site with a minimum of staff. Engineering staff mainly worked from home and setting up a permanent livestream connection was not an option. And yet the modules were delivered on time. We are very pleased with and grateful for the joint effort and also for the positive vibes we felt with the customer."

ALL THREE OTMS DELIVERED TO THE CUSTOMER WITH ZERO SNAGS

The third and final Siemens Energy offshore transformer module (OTM) left the fabrication yard in Hoboken in September 2020 to sail to the Moray East offshore windfarm project, located 22 km from the Aberdeenshire coast in Scotland, marking a significant milestone in the project's progress (figure 7).

This major milestone in the delivery of Moray East is a reminder that the step-change in the transition to low-cost, low-carbon power is enabled by scale and by world-leading innovations. Those innovations include the use of three OTMs, whose modular construction in

ABOUT THE OTMS

An OTM is an offshore substation platform, the first in the world. Three of these are connected to supply the 950 MW Moray East project. The OTMs are an essential part of the wind farm. They stabilise and maximise the voltage of the electricity received from offshore before transmitting it to the shore.

itself marked a major step forward in offshore transmission technology. The platforms sit on three-legged jackets and each one weighs around 1,100 tonnes. Each module transmits the power generated by the 100 turbines across the 295 km² site, back to shore and into homes and businesses. That's sustainable energy for you!



9- The deck sections of the OTMs were produced at Smulders' production facilities in Balen and Tessenderlo (Belgium).

10- Assembly of the OTM at the Equans yard in Hoboken, Belgium.

9- Les tabliers des modules OTM ont été fabriqués dans les ateliers de Smulders situés à Balen et à Tessenderlo en Belgique.

10- Assemblage d'un module OTM au chantier d'Equans situé à Hoboken en Belgique.





© MANORRA LOGISTICS
11

11- OTM being shipped from Hoboken to its final destination.

11- Module OTM en course d'expédition à partir d'Hoboken vers sa destination définitive.

ONWARDS TO MORAY WEST

This is not where it ends. Moray West, an offshore wind farm in the outer Moray Firth, has selected the Siemens Energy/Iemants consortium for the supply of two offshore substation platforms. The wind farm will employ the next version of the Siemens Energy Offshore Transformer Module technology

MORAY EAST PART 1 - JACKETS POSITIVE SENSE

LOCATION: North East Coast Scotland
CUSTOMER: Moray Offshore Wind East Ltd
SCOPE: 55 jackets / 85 m high / 1,000 tonnes
TOTAL WIND FARM CAPACITY:
950 MW over 295 km² > green energy for approx. 950,000 households

MORAY EAST PART 2 - OFFSHORE TRANSFORMER MODULES (OTMS)

LOCATION: North East Coast Scotland
CUSTOMER: Siemens Transmission & Distribution Ltd
WEIGHT: 3 x 420 tonnes of steel

(OTM[®]) which will ensure the project can reliably export green electricity of excellent value to consumers across the UK. A key factor of selection was how the consortium would bring assembly and fit-out of the OTMs to the Smulders Projects UK yard in Newcastle, where the platforms will be built. Local or UK content sits high on the agenda for UK projects and, together with our strategic partners, we strive to increase local content going forward in this very competitive international market. The Moray West project allows us to kickstart further projects at the Smulders' yard in the North East, preparing the way for further green jobs and for securing additional local-content projects in the near future. □

ABSTRACT

MORAY EAST, UN DÉFI INDUSTRIEL RELEVÉ EN ÉCOSSE, DANS DES DÉLAIS SERRÉS

LIEVEN VAN HILEGHEM, SMULDERS - DAVID MUYLAERT, SMULDERS - BART VAN ROOY, SMULDERS

Moray East est un parc éolien en mer réalisé au large de la côte écossaise par Moray Offshore Windfarm East Ltd (Mowel), une co-entreprise constituée par Diamond Green Limited (33,4%), Edpr (33,3%), Engie (23,3%) et Ctg (10%). Ce parc éolien, avec une puissance installée de 950 MW, couvre une superficie de 295 km² et fournira de l'électricité pour 950 000 familles. La société Smulders a réalisé 55 chemises pour ce projet dans le cadre d'une co-entreprise constituée avec Deme Offshore. Elle a également livré à Moray East trois modules transformateur offshore ("OTM") pour le compte de Siemens. Smulders a réalisé la conception, la production, le sablage et la peinture des modules. Son associée au JV, la société Engie Solutions, a réalisé la partie électrique, l'équipement et les essais, tandis que Siemens a fourni le matériel haute tension. Les modules OTM relient le parc éolien au réseau électrique du Royaume-Uni. □

MORAY EAST, UN DESAFÍO INDUSTRIAL EN ESCOCIA CON UN AJUSTADO CALENDARIO

LIEVEN VAN HILEGHEM, SMULDERS - DAVID MUYLAERT, SMULDERS - BART VAN ROOY, SMULDERS

Moray East es un parque eólico marino situado frente a la costa escocesa, desarrollado por Moray Offshore Windfarm East Ltd (Mowel), una joint venture entre Diamond Green Limited (33,4%), Edpr (33,3%), Engie (23,3%) y Ctg (10%). El parque eólico, con una capacidad de 950 MW y que cubre un área de 295 km², abastecerá de electricidad a 950 000 hogares. Smulders ha construido 55 torres de celosía para este proyecto, en una joint venture con Deme Offshore. Asimismo, hemos suministrado tres módulos de transformador marino (OTM, u Offshore Transformer Module) para Siemens. Smulders se ha encargado del diseño, la producción, el pulido y la pintura de los módulos. Engie Solutions, socio de la JV, se ha hecho cargo del paquete eléctrico, el equipamientos y las pruebas, y Siemens ha suministrado el equipo de alta tensión. Los OTM conectan el parque eólico a la red eléctrica británica. □



1
© MACCAFERRI

PROTECTION DES BERGES DU BIEF DE NIFFER (68)

AUTEUR : CLOTHILDE BONNET-BALLON, INGÉNIEURE D'ÉTUDES, FRANCE MACCAFERRI

DEPUIS 2016, UN VASTE PROGRAMME DE PROTECTION DES BERGES DU BIEF DE NIFFER, SITUÉ EN ALSACE, A ÉTÉ ENTREPRIS PAR VOIES NAVIGABLES DE FRANCE. CETTE OPÉRATION FAIT SUITE AUX DÉTÉRIORATIONS DES REVÊTEMENTS EXISTANTS. AFIN DE PROTÉGER LES BERGES CONTRE LE BATILLAGE GÉNÉRÉ PAR LE TRAFIC FLUVIAL, DES MATELAS RENO® ONT ÉTÉ MIS EN ŒUVRE SUR LES TRONÇONS LES PLUS SOLLICITÉS.

UN BIEF AVEC DES BERGES À PROTÉGER

Le canal du Rhône au Rhin permet de relier la Saône, affluent du Rhône, à partir de Saint-Symphorien-sur-Saône (21) au sud de Dijon jusqu'à Niffer (68) sur le Rhin à proximité de Mulhouse. Il suit la vallée du Doubs en passant notamment par Besançon et Montbéliard (figure 2). L'aménagement du canal a débuté en 1784 et son inauguration a eu lieu en 1834. Long de

240 km, il permet aujourd'hui le passage de péniches marchandes de faible tonnage, avec toutefois une activité principale qui reste liée à la navigation de plaisance.

Le bief de Niffer (figure 3) correspond à la jonction en partie Nord du canal du Rhône au Rhin avec le grand canal d'Alsace. Cette section s'étend entre les villes de Mulhouse et de Niffer sur environ 16 km. Elle correspond à un tronçon qui permet la navigation à grand

**1- Vue d'ensemble
de protection
des berges du
bief de Niffer.**

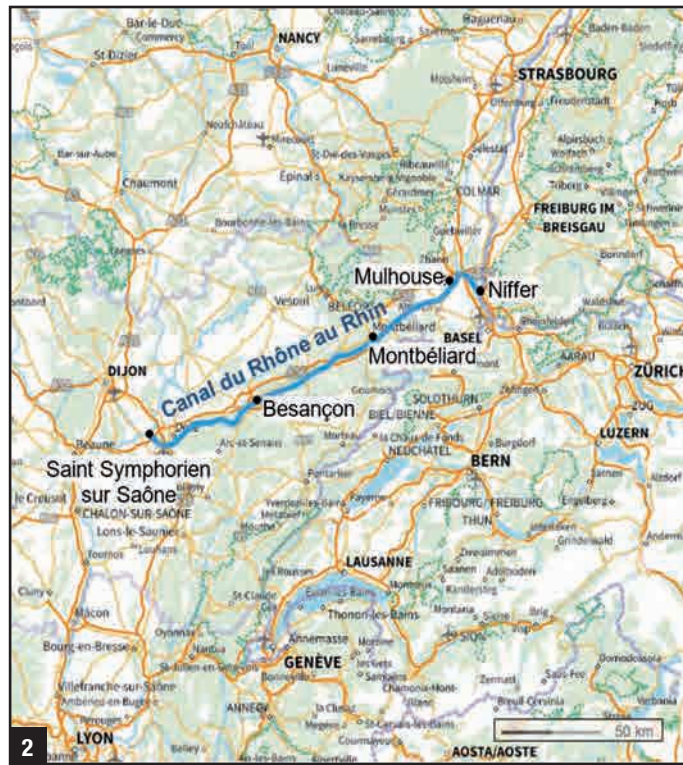
**1- General view
of protection
of the banks of
the Niffer river
reach.**

gabarit qui relie Mulhouse aux ports maritimes de Rotterdam et d'Anvers. Le canal du Rhône au Rhin est géré par les Voies Navigables de France (Vnf). Lors des travaux de 1995 avec la mise à grand gabarit de la section Mulhouse-Niffer, les berges du canal ont été protégées par des enrobés ou des enrochements. Les actions conjuguées du cycle gel-dégel et du batillage ont provoqué au fil des années une détérioration des protections de

ces berges. Suite à ce diagnostic, les Vnf ont lancé en 2016 un programme de confortement des secteurs où une reprise s'avérait nécessaire.

UNE NOUVELLE PROTECTION ADAPTÉE AUX SOLlicitATIONS

Le choix de la solution s'est porté sur des Matelas Reno®. Ces matelas gabions de faible épaisseur sont à même d'assurer une protection sur le long terme contre le batillage. La végétalisation de la berge est également un enjeu central de la reprise envisagée par les Vnf afin d'assurer l'intégration environnementale du projet. Il a donc été proposé de combiner les Matelas Reno® avec des géomatelas tridimensionnels MacMat® R-Acier renforcés par du grillage double torsion pour la partie hors d'eau de la berge (figure 4). Les Matelas Reno® constituent une solution souple qui est particulièrement adaptée pour réaliser des protections superficielles de berges. Outre leur résistance intrinsèque aux vitesses d'écoulement, ils possèdent un très bon comportement vis-à-vis des phénomènes cycliques de type vague. Par ailleurs, ils peuvent admettre les déformations pouvant survenir sur les berges et liées aux écoulements d'eau, aux cycles de gel-dégel du sol support ou aux effets du batillage. Des protections avec des enrobés par exemple peuvent se détériorer rapidement selon les sollicitations auxquelles ceux-ci sont soumis, notamment en milieu hydraulique. De plus, une protection en Matelas Reno® reste perméable et a la capacité de retenir la végétation et plus particulièrement lorsqu'elle est combinée à un géomatelas. Le MacMat® R-Acier est un dispositif accroche-terre qui permet



© IGN-2022

2- Carte du canal du Rhône au Rhin.

3- Localisation des travaux de confortement sur le bief de Niffer.

2- Map of the Rhône-Rhine canal.

3- Location of consolidation works on the Niffer river reach.



© IGN-2022

Ainsi les 3 m inférieurs de la protection, partie immergée, ont été réalisés à l'aide de Matelas Reno® préalablement préremplis sur berge puis manutentionnés à leur place définitive (immergée) à l'aide d'un palonnier et d'un engin de levage. Seuls les 4 m supérieurs (hors d'eau) ont été réalisés in situ.

À ce jour, trois tranches de travaux ont eu lieu avec une première section en 2016 où un linéaire de 60 m de berge a été protégé avec des Matelas Reno®. La tranche de 2017 concernait ensuite une section de 94 m. L'intervention de Maccaferri s'est ensuite inscrite dans le plan triennal de protection des berges du canal financé par Vnf sur 2019 à 2021 (figure 5). La protection de berge en Matelas Reno® a été prolongée sur plusieurs tronçons pour un linéaire cumulé de 2042 m. C'est au total près de 2,2 km de berge qui ont été protégées et réhabilitées avec cette technique.

UN DIMENSIONNEMENT SPÉCIFIQUE

la tenue de la terre végétale de recouvrement et qui facilite ainsi la reprise de la végétation.

Le phasage du chantier et le maintien du trafic fluvial sur le canal ont été des critères supplémentaires pour le choix de la solution. En effet, il n'était pas souhaitable de baisser le niveau d'eau du canal pour pouvoir réaliser des travaux entièrement hors d'eau. La solution retenue présentait l'avantage additionnel de pouvoir être mise en œuvre alors qu'une partie des berges à protéger restait immergée. La protection prévue par Vnf comportait des Matelas Reno® sur un rampant de 7 m.

Le cahier des charges des Vnf stipulait que la protection devait résister aux sollicitations hydrauliques induites par des vagues de 1,4 m de hauteur. Les campagnes de tests qui ont été réalisées par Maccaferri sur les Matelas Reno® ont permis de caractériser les performances hydrauliques de ses structures. Dans la continuité des premiers essais réalisés en 1984, Maccaferri a financé en 2019-2020 une nouvelle campagne d'essais à grandeur réelle à l'Université de l'État du Colorado (CSU) à Fort Collins (États-Unis). Outre ces essais expérimentaux, le dimensionnement des Matelas Reno® s'appuie également sur le guide PIANC (Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation). Les formules utilisées pour le calcul de protection de berge contre le batillage en Matelas Reno® et gabions proviennent d'expériences effectuées par Brown à l'université de New South Wales en Australie et Pilarczyk de l'université de Delft aux Pays-Bas. Elles permettent de déterminer l'épaisseur minimale à donner au revêtement en fonction de l'inclinaison du support et de la hauteur de vague. Pour ce projet, ce sont des Matelas Reno® de 23 cm d'épaisseur qui ont été retenus pour assurer le niveau de protection attendu.

Afin d'assurer la durabilité de la protection, les fils d'acier des Matelas Reno® sont revêtus de polymère extrudé autour du fil d'acier pour isoler ce dernier des effets de la corrosion.



4

© MACCAFERRI

La durée de service de ce type de structures placées en milieu hydraulique est de 120 ans en se basant sur l'annexe A de la norme NF EN 10223-3, traitant de la fabrication des produits à base de grillages métalliques à maille double torsion.

La vérification de stabilité au glissement sur la berge des Matelas Reno® doit prendre en compte notamment la pente de la berge et la nature du sol support. Dans le cas des berges du bief de Niffer, il a été nécessaire de prévoir un dispositif permettant de retenir les Matelas Reno® afin d'éviter leur glissement. Afin de solidariser les matelas préremplis au dispositif d'ancrage, un grillage double torsion a été agrafé à ceux-ci préalablement à leur installation sur la berge. Ce grillage a ensuite été déroulé et installé dans une tranchée d'ancrage localisée en tête de berge. Le matelas supérieur, réalisé in situ, a ensuite été calé et agrafé sur ce grillage (figure 6).

LA MISE EN ŒUVRE D'UNE PROTECTION EN PARTIE IMMERGÉE

Selon le schéma de principe précédemment décrit, les 3 m inférieurs de la protection sont assurés par des Matelas Reno® préremplis.

Lors de leur préparation sur berge, ils ont été équipés sous-face avec un géotextile de filtration MacTex® N40.1 de 200 g/m², ainsi que du grillage d'ancrage, de même nature que celui qui constitue le Matelas Reno®.

Ce grillage de 11 m de long est agrafé sous les matelas. Lors de l'installation des Matelas Reno® préremplis (figure 7), le grillage est déroulé sur la berge et sa partie supérieure, enterrée dans la tranchée d'ancrage située en tête de berge, viendra assurer la stabilité de l'ensemble. Les 4 m supérieurs de la protection ont ensuite été réalisés in situ.

4- Photo d'ensemble de la solution.

5- Mise en œuvre des Matelas Reno®.

4- Overall photo of the solution.

5- Placing Reno® mattresses.

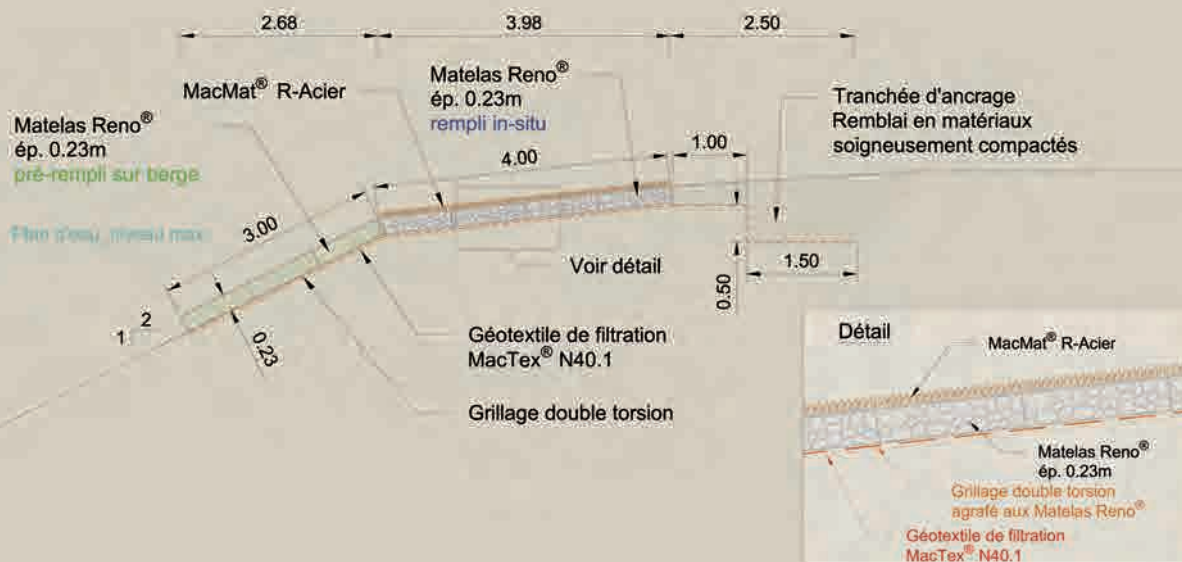
La maîtrise d'œuvre souhaitait également une végétalisation de la solution sur la partie non soumise au battillage. Maccaferri a donc proposé d'utiliser pour le couvercle des Matelas Reno® supérieurs (hors d'eau) un géomatelas tridimensionnel, le MacMat® R-Acier dont le renfort en grillage double torsion est également identique à celui du Matelas Reno® (figure 8).



5

© MACCAFERRI

COUPE TYPE DE LA PROTECTION DE BERGE



© MACCAFERRI

6

UNE SOLUTION UTILISANT DES PRODUITS EFFICACES ET DURABLES

Les Matelas Reno® sont des structures fabriquées à partir de grillage métallique à maille hexagonale double torsion de type 6x8, produites conformément au Règlement des Produits de la Construction 305/2011 et la NF EN 10223-3 : 2014 et certifiées CE selon l'ETA-15/021. Le système de management et de production de la qualité est certifié ISO 9001 et 140001. Les Matelas Reno® sont partitionnés en cellules de 1 m de longueur par des doubles diaphragmes obtenus par

6- Coupe type de la protection de berge.

7- Manutention et installation du Matelas Reno® prérempli.

8- MacMat® R-Acier.

6- Typical section of bank protection.

7- Handling and installation of prefilled Reno® mattress.

8- MacMat® R-Steel.

pliage de la nappe de grillage constituant le fond de la cellule, les côtés et les diaphragmes (figure 9). Comme mis en évidence lors des essais de Fort Collins (1984 et 2019), le procédé "double diaphragme" confère aux structures une meilleure résistance aux écoulements ainsi qu'une meilleure tenue lors des opérations de remplissage. Pour renforcer la structure, les arêtes sont équipées d'un fil de bordure ayant un diamètre plus important que le fil de maille. Afin d'obtenir la durabilité souhaitée pour ce projet, les fils d'acier du grillage double torsion sont galvanisés de type Galmac classe A et revêtus de polymère

pour un diamètre de 2,2/3,2 mm. En effet, en conformité avec la norme NF P 94 325-2 pour la mise en œuvre des gabions en milieu hydraulique, seuls des grillages revêtus de polymère permettent d'atteindre une durée de service de 120 ans. Le grillage d'ancrage possède les mêmes caractéristiques. L'accroche-terre MacMat® R-Acier, servant de couvercle aux Matelas Reno® remplis in-situ, est une géogridle tridimensionnelle en polypropylène associée à un grillage double torsion à maille hexagonale de type 6x8 avec un fil de diamètre 2,2/3,2 mm revêtu de polymère. ▷



7

© MACCAFERRI



8

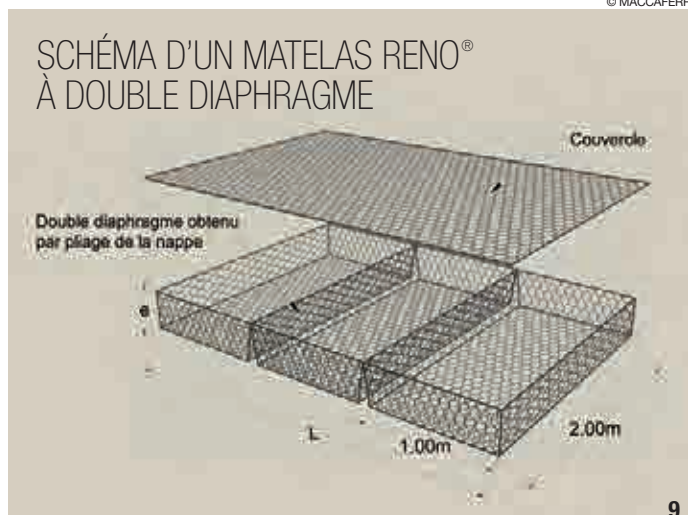
© MACCAFERRI

Le géomatelas polymère, de couleur noire ou verte pour ce projet, est stabilisé aux UV. Le MacMat® R-Acier joue un rôle d'accroche de la terre végétale mise en œuvre au-dessus de Matelas Reno®, de fixation du tissu racinaire des végétaux et de résistance aux sollicitations hydrauliques.

LES CONTRAINTES DU SITE ET LES ADAPTATIONS

Lors de la planification des travaux de la troisième tranche d'intervention, des contraintes d'emprise ont été prises en compte. En effet sur plusieurs secteurs concernés par le confortement, la présence d'une piste cyclable proche de la berge ne permettait pas de terrasser une tranchée d'ancrage de 1,5 m de large. Dans d'autres zones, c'est la présence de réseaux enterrés qui a limité l'emprise du projet. Par conséquent, dans ces secteurs, l'ancrage a été réalisé par la mise en place, en tête de berge, d'un gabion double torsion de section 1x1 m enterré et contre lequel le matelas supérieur a été agrafé. La liaison du matelas prérempli a été réalisée au moyen d'un chevauchement sur une largeur de 1 m du grillage double torsion agrafé préalablement au matelas prérempli puis au matelas rempli in situ (figure 11).

De plus, un appontement pour les kayaks a été intégré à la protection lors des travaux de septembre 2019 en rive droite du canal. Ce sont des gabions de



section 0,5x0,5 m qui ont été implantés à l'extrémité des Matelas Reno® afin de créer des zones d'accessibilité pour les embarcations (figure 10).

LES BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX DE LA SOLUTION

De manière globale, une protection de berge par Matelas Reno® réduit l'empreinte carbone de la solution et permet d'obtenir un équilibre entre la performance technique et les aspects environnementaux.

La résistance hydraulique de pierres confinées dans un Matelas Reno® est beaucoup plus importante que pour des enrochements en vrac et réduit le

9- Schéma d'un Matelas Reno® à double diaphragme.

10- Ponton à kayak.

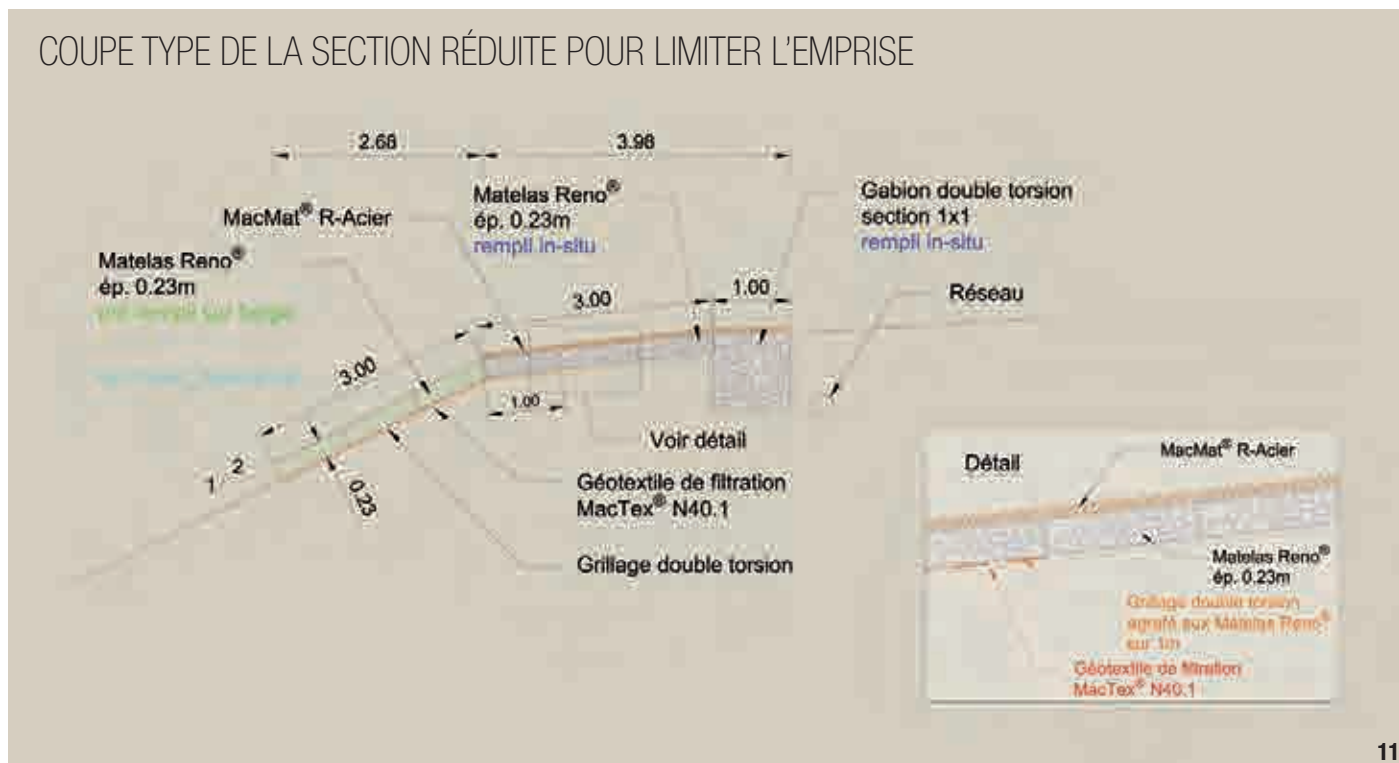
11- Coupe type de la section réduite pour limiter l'emprise.

9- Diagram of a double-diaphragm Reno® mattress.

10- Kayak pontoon.

11- Typical reduced cross section to limit the land area used.

COUPE TYPE DE LA SECTION RÉDUITE POUR LIMITER L'EMPRISE





12a

© MACCAFERRI



12b

© MACCAFERRI

volume de pierres nécessaire pour un même niveau de protection. Les produits utilisés sont transportables en fardeaux et assemblés sur le chantier. Ce procédé permet de réduire le volume de transport. Par ailleurs, des équipements légers suffisent à l'installation. Pour exemple, le processus complet de mise en œuvre d'une protection de berge avec des Matelas Reno® représente environ 50% de rejet de CO₂ de moins qu'une solution en enrochement. De plus, la perméabilité de ce type de solution favorise la croissance de la végétation (figure 12), produisant une grande quantité de biomasse qui, à son tour, absorbe le CO₂.

CONCLUSIONS SUR LA PROTECTION DE BERGES DU BIEF

Une protection en Matelas Reno® constitue une solution bien adaptée

**12a & 12b-
Végétalisation
de la solution –
07-2018/09-2019.**

**12a & 12b-
Revegetation
of the solution –
07-2018/09-2019.**

pour protéger les berges contre les sollicitations hydrauliques et en particulier contre les effets du batillage. Dans le cadre de la réfection des berges du bief de Niffer, ce procédé a permis de conforter les sections où le trafic fluvial et les écoulements avaient détérioré les protections réalisées en 1995. La solution présentait

quatre avantages principaux : une mise en œuvre en partie immergée, une adaptation aux contraintes locales d'emprise, la possibilité d'une revégétalisation rapide des berges et un bilan carbone optimal. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE :

- VNF – DT Strasbourg (tranches 2016-2018)
- VNF – CME de Niffer (tranche 2019-2021)

ENTREPRISE MANDATAIRE : Vogel TP

**FOURNISSEUR ET POSEUR DES MATELAS RENO®,
MACMAT® R-ACIER ET GABIONS : France Maccaferri**

PRINCIPALES QUANTITÉS

TRANCHE 2016-2018 :

- Matelas Reno® : 1 680 m²
- MacMat® R-Acier : 1 050 m²

TRANCHE 2019-2020 :

- Matelas Reno® : 12 900 m²
- MacMat® R-Acier : 8 050 m²
- Gabions double torsion : 1 625 m³

ABSTRACT

PROTECTION OF THE BANKS OF THE NIFFER RIVER REACH

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

The Niffer river reach is located north of the Rhône-Rhine canal, near Mulhouse in eastern France. During the renovation campaign on the banks of the river reach financed by Voies Navigables de France (Vnf), Reno® mattresses were installed over a cumulative total of about 2 km to protect the banks subjected to stress by wave action. Since part of the bank is submerged during the works, the bottom 3 metres are formed of Reno® mattresses filled on the bank beforehand and then moved by handling to their final position. The cover of the upper Reno® mattresses, placed in situ, is a MacMat® R-Steel soil fastening system facilitating vegetation growth. □

PROTECCIÓN DE LAS ORILLAS DE LA ACEQUIA DE NIFFER (68)

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

La acequia de Niffer está situada al norte del canal que discurre entre el Ródano y el Rin, cerca de Mulhouse (68). Durante la campaña de reparación de las orillas de la acequia, financiada por Voies Navigables de France (Vnf), se instalaron colchones Reno® a lo largo de unos 2 km para proteger las orillas, afectadas por el oleaje. Con una parte de la orilla sumergida durante las obras, los 3 m inferiores están formados por colchones Reno® previamente llenados en la orilla y seguidamente colocados en su lugar definitivo. La cubierta de los colchones Reno® superiores, instalada in-situ, es una geoestera MacMat® R-Acero que facilita el restablecimiento de la vegetación. □



1
© DR

CONSTRUCTION DU PREMIER BARRAGE ANTI-TEMPÊTE EN BELGIQUE À NIEUPOORT

AUTEUR : BENNY DE SUTTER, DIRECTEUR DE HERBOSCH-KIERE, EIFFAGE BENELUX

POUR PROTÉGER LA VILLE DE NIEUPOORT (BELGIQUE) ET LES ENVIRONS CONTRE LES FORTES ONDES DE TEMPÊTE, UN BARRAGE ANTI-TEMPÊTE VA ÊTRE AMÉNAGÉ À L'EMBOUCHURE DE L'YSER. LES TRAVAUX COMPRENNENT LA FABRICATION, LA LIVRAISON ET L'INSTALLATION D'UN BARRAGE ANTI-TEMPÊTE MOBILE LAISSANT UN PASSAGE DE 38 m DE LARGE ET OFFRANT UNE HAUTEUR LIBRE ILLIMITÉE. EN PRÉVISION D'UNE ONDE DE TEMPÊTE, LE BARRAGE PEUT PIVOTER DE 90 DEGRÉS POUR RETENIR L'EAU DE LA MER. LES CONCEPTEURS DU PROJET ONT ÉGALEMENT TENU COMPTE D'UNE ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER DE 80 CENTIMÈTRES D'ICI 2100. ILS ONT EN OUTRE PRÉVU UN BÂTIMENT DE SERVICE AINSI QUE LES INFRASTRUCTURES PÉRIPHÉRIQUES NÉCESSAIRES TELLES LES VOIRIES ET L'AMÉNAGEMENT DES ABORDS.

NIEUPOORT ET L'YSER

Nieuport est une ville et une station balnéaire sur la côte belge. L'ancien centre-ville se trouve à quelque trois kilomètres du littoral. Un deuxième noyau touristique, baptisé Nieuport-

Bains, est toutefois apparu au bord de la mer. La ville compte plus de 11 600 habitants (recensement de 2019). C'est à Nieuport que l'Yser se jette dans la mer du Nord. Ce fleuve qui traverse la Flandre occidentale (Belgique) et les

1- Vue aérienne du projet.

1- Aerial view of the project.

Flandres françaises est le plus court des trois fleuves belges se jetant dans la mer (les deux autres étant la Meuse et l'Escaut), et le seul qui s'y jette sur le territoire belge. Il parcourt au total 78 km, dont 45 en Belgique.



2

© DÉPARTEMENT MOBILITÉ ET TRAVAUX PUBLICS, L'AGENCE DES SERVICES MARITIMES ET CÔTIERS (SMC)

NÉCESSITÉ

Les ondes de tempête représentent une des principales menaces naturelles dans la région de la mer du Nord. Les ports côtiers sont aujourd'hui les plus menacés par le risque d'inondation en cas de forte tempête. Par ailleurs, Nieuport et son arrière-pays ne sont pas préparés pour les niveaux d'eau élevés qui sont associés aux tempêtes violentes. Afin de protéger la côte et l'arrière-pays des fortes ondes de tempête, le gouvernement flamand a approuvé en 2011 le plan directeur de sécurité de la côte. Celui-ci comprend une série de mesures visant à protéger la côte belge des fortes ondes de tempête. Grâce à ces mesures, la côte sera protégée contre les inondations au

2- Représentation graphique du barrage anti-tempête.

3- Représentation graphique du fonctionnement du barrage dans les trois positions.

2- Graphic representation of the storm surge barrier.

3- Graphic representation of barrier operation in the three positions.

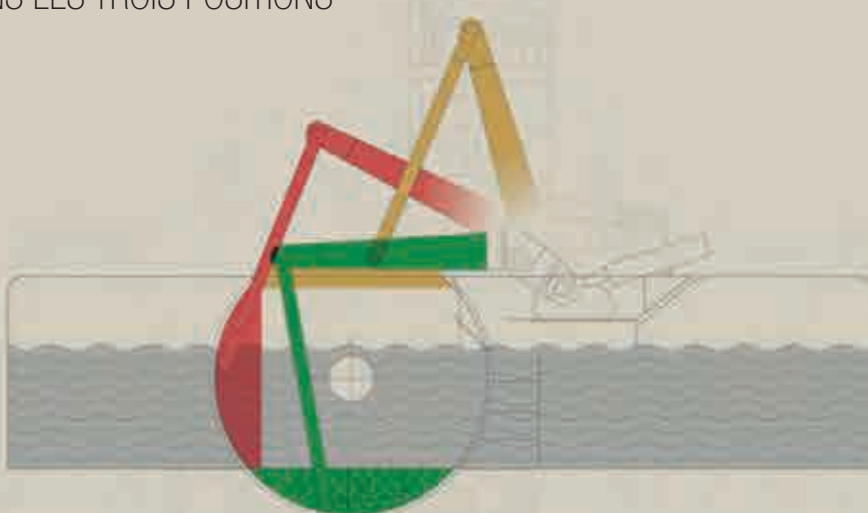
moins jusqu'en 2050. Le plan directeur pose en principe la nécessité de la construction d'un barrage anti-tempête à l'embouchure de l'Yser. C'est en effet à cet endroit que se trouvent les maillons faibles, au niveau des ports. Plus de 85 % des polders se situent à moins de 6 m au-dessus du DNG (deuxième nivellement général : hauteur de référence par rapport à laquelle les mesures de hauteur sont exprimées en Belgique). En cas de tempête comme il s'en produit une fois tous les 10 ans, l'eau peut actuellement dépasser de plus de 6 m le DNG. Le barrage anti-tempête offrira toutefois également une protection contre les tempêtes millénales (les tempêtes excessivement violentes qui peuvent statistiquement

se produire une fois tous les mille ans). D'ici 2100, il se peut que le niveau de la mer augmente encore de 80 cm, notamment en raison du réchauffement de la planète. Le dessus du barrage peut offrir une protection jusqu'à 8,5 m au-dessus du DNG.

SPÉCIFICATIONS POUR LE BARRAGE ANTI-TEMPÊTE

Après des études et une conception architecturale approfondies, il a été opté pour une vanne-secteur horizontale laissant un passage de 38 m (figure 2). Le barrage en acier mobile est une construction qui pivote autour d'un axe horizontal. En position de stationnement, le barrage est enfoncé dans un socle en béton au fond de l'Yser. Le barrage en acier pivote entre deux axes en acier moulé qui sont ancrés dans une culée en béton. Ces deux culées sont reliées aux rives de l'Yser. Quand une onde de tempête est prévue par les météorologues ou aux fins d'une fermeture en guise de test, une rotation de 90 degrés est appliquée au barrage afin de le mettre en position de retenue. Pour la maintenance, une rotation de 180 degrés peut être appliquée au barrage afin de le mettre en position de maintenance. Le barrage anti-tempête peut être verrouillé et déverrouillé dans les trois positions (stationnement, retenue et maintenance) au moyen d'une télécommande (figure 3). Il est équipé d'un mécanisme de mouvement des deux côtés de sorte à pouvoir passer de la position de stationnement à la position de retenue ou de maintenance en un seul mouvement ininterrompu. La capacité du mécanisme est suffisante pour que, même si seul un des deux mécanismes fonctionne, le barrage puisse toujours passer de la position de stationnement à la position de retenue en cas de problème de niveau d'eau.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DANS LES TROIS POSITIONS



3

© DÉPARTEMENT MOBILITÉ ET TRAVAUX PUBLICS, L'AGENCE DES SERVICES MARITIMES ET CÔTIERS (SMC)

ASSOCIATION MOMENTANÉE EIFFAGE - JAN DE NUL GROUP

Une association momentanée a été créée pour le projet de Nieuport. Elle se compose de Herbosch-Kiere (Eiffage) et Jan De Nul Group et se charge de la construction pour le compte de l'Agence des Services maritimes et côtiers, qui dépend du ministère de la Mobilité et des Travaux publics du gouvernement flamand. La conception, les plans, les blindages, les fondations et les travaux de bétonnage sont tous réalisés avec des moyens propres et avec le savoir-faire disponible en interne.



4 © ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



5 © ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

PHASES DES TRAVAUX SONDAGES ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES

En février 2018, des sondages ont été effectués depuis une plateforme de levage. Les travaux préparatoires ont ensuite débuté pour préparer le chantier en vue de la réalisation du nouveau barrage anti-tempête. Ces travaux comprenaient la démolition et la dépose des constructions existantes qui se trouvaient dans le gabarit du barrage à construire, l'enlèvement temporaire du mobilier urbain, les relevés indispensables des lieux, l'aménagement et la clôture du chantier, la signalisation nécessaire, etc.

TRAVAUX DE BATTAGE DES PIEUX ET OPÉRATIONS DE DRAGAGE POUR LE MUR DE DÉVIATION DE COURANT SUR LA RIVE GAUCHE

Le profil du fond ne permettait pas d'effectuer les travaux de battage des pieux

sans la présence d'un ponton dans le chenal navigable. C'est pourquoi les travaux d'excavation se sont déroulés en deux phases. La première partie des travaux d'excavation visait à assurer que le ponton destiné aux travaux de battage des pieux reste opérationnel à marée basse. Au terme de cette phase, les travaux de battage des pieux des murs de déviation de courant ont pu commencer. Ces travaux ne dépendaient alors plus des marées. Les palplanches (de type AZ40-700 et AZ44-700) des murs de déviation de courant ont été placées depuis un ponton dans le chenal navigable (niveau de placement à 16 m sous le DNG) (figure 4). Pendant la réalisation des travaux, il fallait à tout moment garantir un passage libre de 35 m et une profondeur minimale correspondant à la profondeur de dragage existante de 3 m sous le niveau de la marée astronomique la plus basse. Pour pouvoir enfoncer les

4- Travaux de battage des pieux pour le mur de déviation de courant.

5- Travaux de dragage pour le mur de déviation de courant.

6- Travaux de battage des pieux pour la cuve de construction rive gauche.

4- Pile driving work for the flow diversion wall.

5- Dredging work for the flow diversion wall.

6- Pile driving work for the left-bank construction tank.

palplanches sur une ligne droite, un gabarit a été utilisé pour le battage des pieux. Comme les travaux se faisaient sur l'eau, soit le gabarit devait être posé sur un soutien temporaire (croix), soit il fallait travailler avec un gabarit flottant. Après le battage des murs de déviation de courant, le dragage de la deuxième partie pouvait commencer. Cette partie était draguée contre les murs de déviation de courant jusqu'au niveau de -3,65 m sous le DNG. La grue était placée sur un ponton avec des montants de forage. La terre excavée était stockée dans un chaland placé le long du ponton (figure 5). La terre pouvait ensuite être répandue en mer.

CUVE DE CONSTRUCTION RIVE GAUCHE

Après le battage des murs de déviation de courant et l'excavation du chenal du port afin de créer suffisamment de tirant d'eau pour les travaux de



6 © ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



7

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

battage des pieux à marée basse, les cuves de construction des culées ont été ancrées. Les travaux ont commencé par la rive gauche avant de concerner la rive droite ; ils n'ont pas été réalisés simultanément pour laisser à tout moment un passage de 35 m. La réalisation de ces cuves de construction constituait un des principaux défis du projet. Pour pouvoir réaliser les culées dans lesquelles les axes en acier moulé sont ancrés, une cuve de construction sèche a d'abord été construite. Cette cuve a été assemblée à 10 m de la rive

7- Gabarit pour les piliers tubés.
8- Coulage du béton sous l'eau.
9- Armature de la dalle de fondation.

7- Template for tube piers.
8- Pouring concrete underwater.
9- Reinforcement of the foundation slab.

et se compose d'une paroi combinée (une combinaison de pieux tubulaires et de palplanches). Ces travaux de battage des pieux ont été effectués depuis deux pontons dans le chenal du port (figure 6).

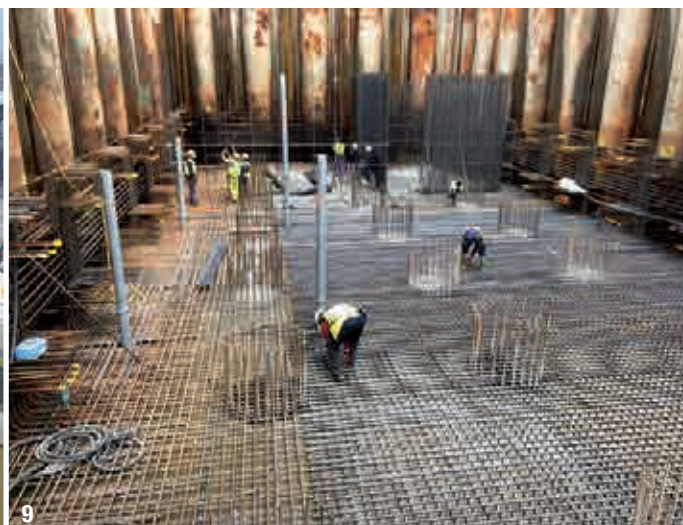
53 piliers tubés en acier et autant de palplanches (type AZ28-700) ont permis aux ouvriers de travailler au sec. Pour le battage des pieux d'une paroi combinée de la cuve de construction il a fallu un gabarit spécial pour l'installation des piliers tubés (figure 7). Dans la cuve, 42 pieux tubulaires ont encore été

placés pour servir de fondation pour la culée. En avril 2019, 1860 m³ de béton ont été coulés sous l'eau (figure 8). La cuve de construction a ensuite été vidée et nettoyée et environ 500 t d'armatures en acier ont été placées pour la dalle de fondation (figure 9). Cette dalle a une épaisseur totale de 3 m. Pour réaliser le tapis de fondation du fond en pieux et les pieux de la paroi combinée, un outil de dragage novateur a été conçu spécifiquement pour ce chantier. Les tubes devaient être vidés jusqu'à une profondeur de 26 m. ▷



8

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



9

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

Le diamètre des pieux de fondation étant de 1,27 m et celui des pieux de la paroi combinée de 1,42 m, une pompe de dragage avec 2 têtes de découpe a été utilisée pour convenir également pour le plus petit diamètre.

Pendant ces travaux, il a toujours fallu tenir compte de la marée. Ainsi, le niveau de l'eau dans la cuve de construction variait en fonction de la marée et il y avait une différence de charge entre la marée haute et la marée basse. Raison pour laquelle il a fallu travailler avec des volets d'égalisation dans les planches intermédiaires, pour que le niveau d'eau reste égal à l'intérieur et à l'extérieur de la cuve de construction. La livraison de tous les matériaux avait lieu dans la mesure du possible en dehors des heures de service du ferry.

10- Construction de la culée rive gauche.

11- Construction de la cuve de construction rive droite.

12- Cuve de construction rive droite et culée rive gauche.

10- Construction of the left-bank abutment.

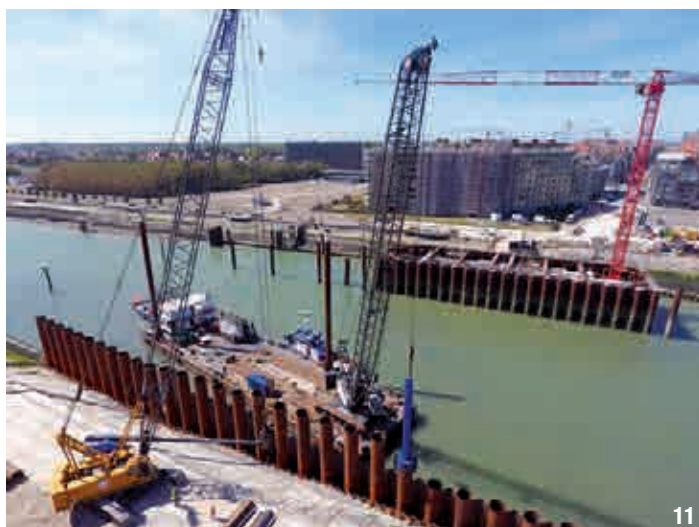
11- Construction of the right-bank construction tank.

12- Right-bank construction tank and left-bank abutment.



10

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



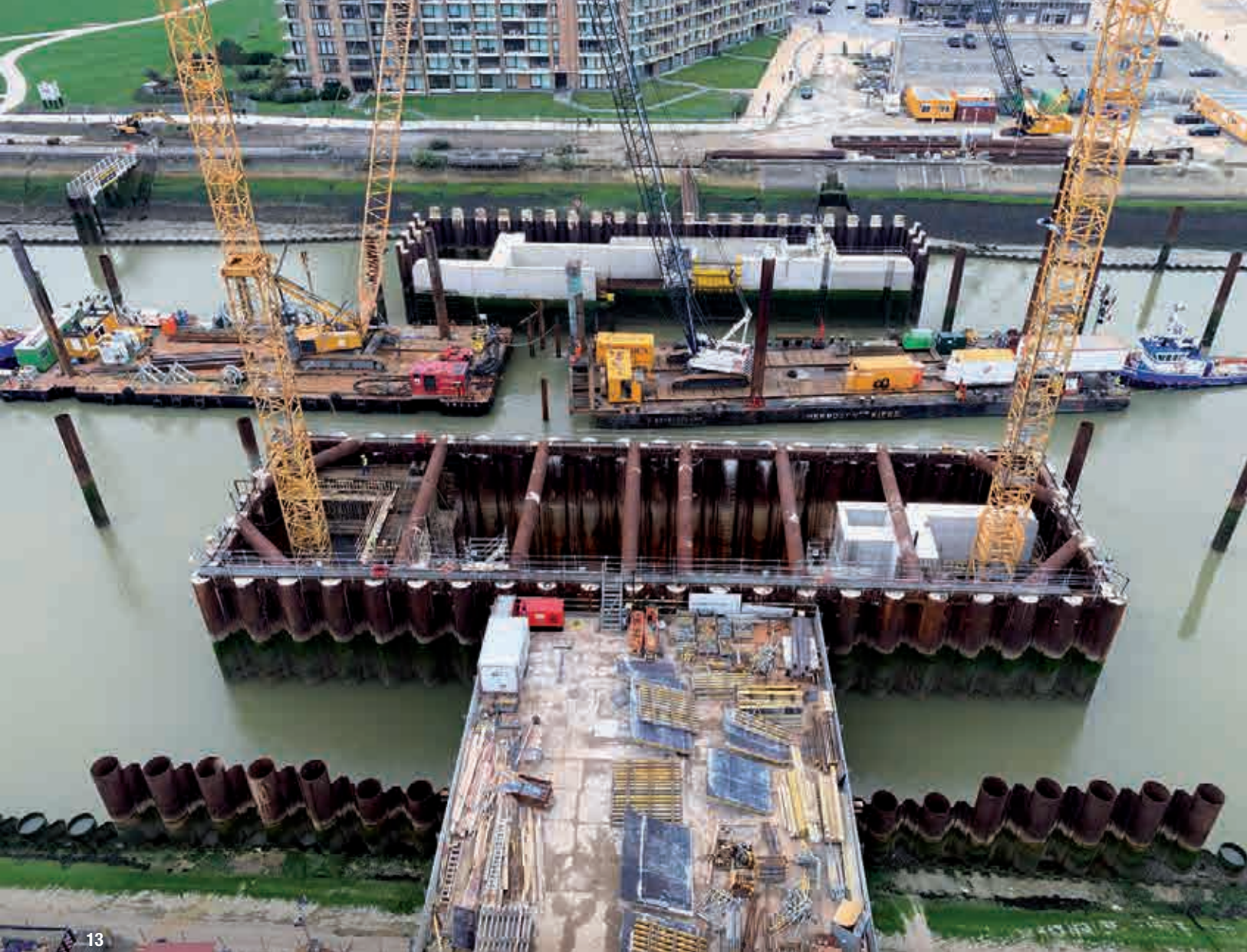
11

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



12

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



13

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

CULÉE RIVE GAUCHE

Après les vacances d'été, les travaux ont repris au début du mois de septembre 2019 et les murs de 18 m de haut de la culée ont été construits sur la rive gauche (figure 10). Une fois ces travaux terminés, les palplanches de la paroi combinée de la cuve de construction ont été brûlées sous l'eau. Les piliers tubés ont été usinés par abrasion de l'intérieur.

CUVE DE CONSTRUCTION ET CULÉE RIVE DROITE

La cuve de construction sur la rive droite est en réalité une copie conforme

13- Battage des pieux palplanches fouille draguée.

14- Dessin technique fouille draguée et seuil.

13- Dredged-trench sheet pile driving.

14- Technical drawing of dredged trench and weir.

en miroir de la cuve de la rive gauche (figure 11). Les connaissances et l'expérience acquises lors des travaux sur la rive gauche ont permis d'affiner la méthode d'exécution. Dans le courant du mois de juin 2021, les grues à tour ont été placées pour démarrer les travaux de coffrage de la culée de la rive droite (figure 12).

FOUILLE DRAGUÉE POUR LE SEUIL

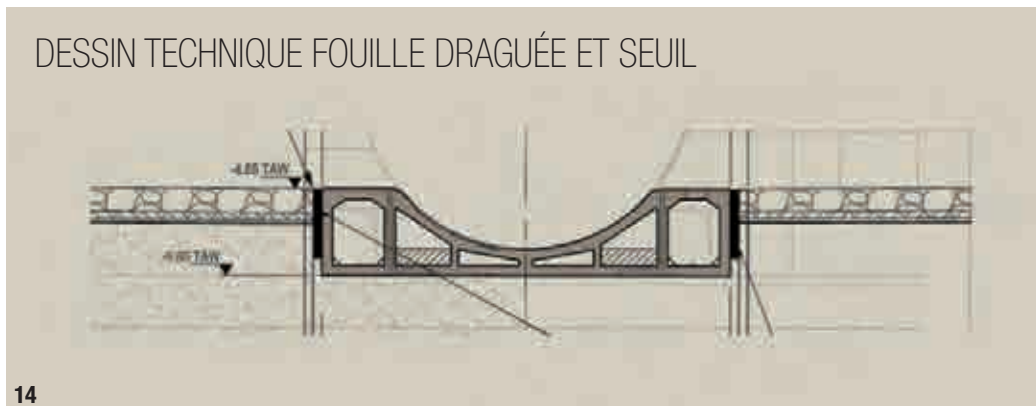
Pour pouvoir immerger le seuil entre les 2 culées, il est nécessaire d'excaver une fouille draguée entre les rideaux de palplanches battus qui relient entre

elles les deux dalles des culées. Le côté inférieur du seuil se trouve au niveau de 9,65 m sous le DNG (figure 14). Préalablement aux travaux de battage des pieux des palplanches de la fouille draguée, et avant le brûlage de la paroi combinée des culées, il a fallu prendre avec exactitude les mesures entre les tubes des culées pour pouvoir déterminer précisément la distance réelle entre les deux. C'était absolument nécessaire pour pouvoir déterminer le nombre total de palplanches et l'espace restant à combler. Les palplanches de la fouille draguée pour le seuil ont été ancrées avec un gabarit flottant pour palplanches (figure 13).

SEUIL

Après le parachèvement de la culée sur la rive droite, les travaux préparatoires pour le placement du seuil en béton entre les deux rives ont commencé en septembre 2021. Le corps du barrage sera finalement placé dans le seuil qui relie les deux culées. Le 3 janvier 2022, l'association momentanée Herbosch-Kiere (Eiffage) et Jan De Nul a entamé la construction du seuil en béton sur le ponton flottant "Tronds Barge 30" sur les terrains de Herbosch-Kiere (Eiffage) à Kallo.

DESSIN TECHNIQUE FOUILLE DRAGUÉE ET SEUIL



14

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

15- Construction du seuil sur ponton submersible.

16- Transport du seuil de Kallo à Ostende.

15- Construction of the weir on submersible pontoon.

16- Transporting the weir from Kallo to Ostende.

La construction ne pouvait pas avoir lieu sur place à Nieuport car elle aurait gêné le chenal navigable de l'Yser pendant une longue période. Le seuil de 40 m de long, 25 m de large et 5 m de haut a par conséquent été construit sur un ponton d'immersion (figure 15) offrant une plateforme de travail stable.

Le 16 avril, le transfert de Kallo à Ostende a eu lieu, un trajet qui dure environ douze heures (figure 16). À l'arrivée à Ostende, tout ce qui empêchait le seuil de bouger ou de se renverser en cours de transport (l'arrimage) a été enlevé. Ensuite, le seuil a été accroché à une grue sur un second ponton, le Matador III. Le seuil en béton pèse plus de 4500 t, dépassant la capacité de levage par le Matador III. Or un objet submergé est moins lourd à lever (le principe d'Archimède). C'est pourquoi le ponton a été submergé pour



© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

que le seuil se trouve complètement sous eau. Ainsi, la charge à lever ne pesait plus "que" 1 210 t. Ensuite, il a encore fallu exécuter une série de contrôles. Ce n'est qu'ensuite que le seuil, suspendu à la grue du Matador III, a été prêt pour la dernière étape du voyage jusqu'à Nieuport, un

trajet d'environ six heures (figure 17). Une fois arrivé dans le chenal du port de Nieuport, il a été déposé entre les deux culées. Enfin, il a encore dû être fixé. Pour ce faire, le chenal du port a été entièrement fermé pendant une dizaine de jours. Pendant toute la durée du processus à Nieuport, des plongeurs

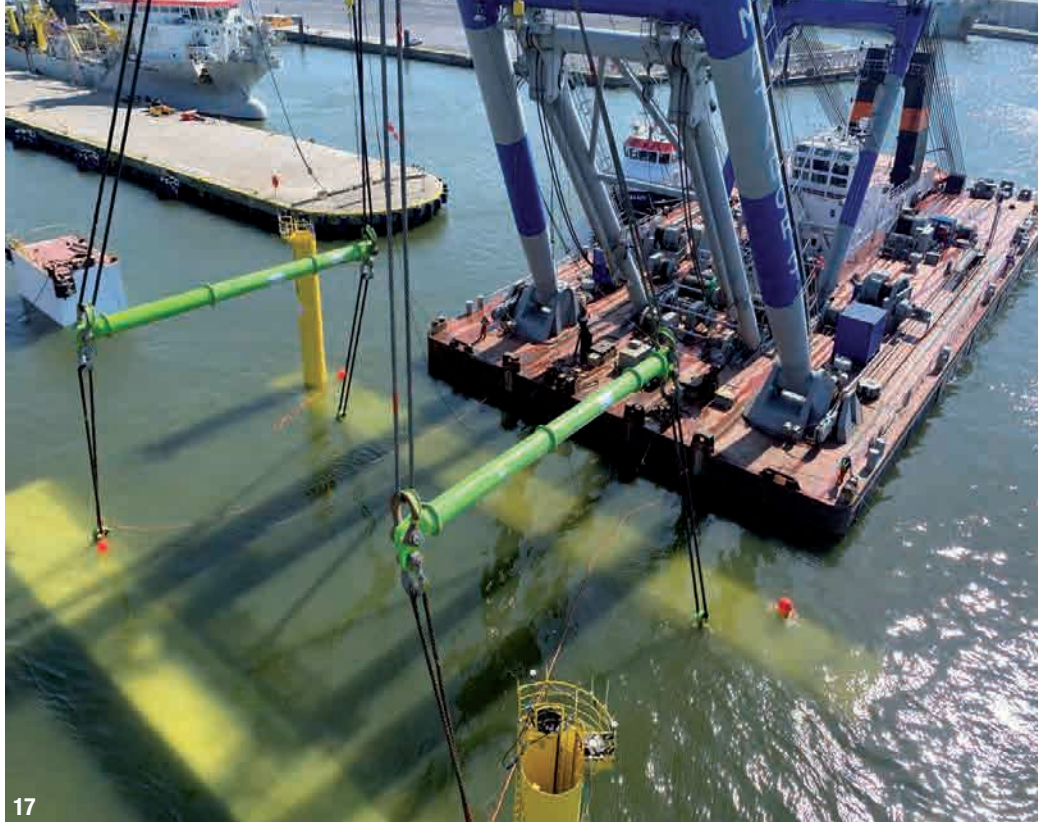
étaient présents pour contrôler le bon déroulement de la pose du seuil.

RACCORDEMENT DES CULÉES À LA RIVE

À l'automne 2022, la construction des conduits de contournement commencera. Il s'agit de buses latérales que



© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP



17

© ASSOCIATION MOMENTANÉE HERBOSCH-KIERE - JAN DE NUL GROUP

PRINCIPALES QUANTITÉS

CHIFFRES CLÉS RELATIFS AUX TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

TRAVAUX D'EXCAVATION DANS L'EAU POUR LES CUVES

DE CONSTRUCTION ET LES CULÉES : 19 000 m³

TRAVAUX DE DRAGAGE : 40 000 m³

TERRASSEMENTS EN REMBLAI : 33 000 m³

BÉTON : 26 500 m³

SEUIL CONSTRUIT À KALLO : 4 500 t

FERRAILLAGE : 1 785 t

RIDEAU DE PALPLANCHES : 15 063 m² ou 2 713 t

PILIERS TUBÉS : 9 766 m ou 7 235 t

BÂTIMENTS - BÂTIMENT DE SERVICE

BÉTON : 320 m³

FERRAILLAGE : 40 t

MENUISERIE : 135 m²

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

CORPS DU BARRAGE ET CYLINDRES : 1 344 t

OUVRAGE DE RETENUE : 473 t

MÉCANISME DE MOUVEMENT : 420 t

PROTECTION DU SOL

GÉOTEXTILE : 18 600 m²

MOELLONS : 60 500 t

17- Transport du seuil d'Ostende à Nieuport avec Matador III.

17- Transporting the weir from Ostende to Nieuport with Matador III.

l'on installe dans chacune des culées. Leur but est de limiter l'écoulement des eaux lors de marées de vive eau à trois nœuds. Dans une phase ultérieure, en 2023 et 2024, tout sera intégré sur le plan de l'électromécanique,

de l'hydraulique et de l'acier. Ensuite, il faudra encore poser la barrière en acier, réaliser l'ouvrage de retenue et la construction du bâtiment de service sur la culée de la rive droite. Le projet dans son ensemble doit être achevé en 2025.

MATÉRIEL

Un travail d'infrastructure de grande ampleur nécessite un parc de machines important et surtout diversifié. Beaucoup de travaux ayant été effectués sur l'eau, beaucoup de matériel flottant a été utilisé, comme des pontons avec ou sans montants de forage, des chalands, des jack-up. Le matériel de battage des pieux ou les pelles mécaniques étaient ensuite placés sur ce matériel flottant. Des grues à câbles ont été placées sur le pont de chantier destiné aux cuves de construction et aux culées. La largeur du pont de chantier a été doublée pour la construction de la culée et de la cuve de construction sur la rive droite pour laisser suffisamment de place pour le matériel.

FINANCEMENT

Le prix de revient du barrage anti-tempête et des accessoires est estimé à environ 50 millions d'euros. C'est le gouvernement flamand qui met ce montant sur la table, et les travaux sont également subventionnés par l'Europe. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Département Mobilité et Travaux Publics, l'Agence des Services maritimes et côtiers (SMC)

ENTREPRENEUR : Herbosch-Kiere (Eiffage) - Jan De Nul Group

BUREAU DE CONTRÔLE TECHNIQUE : Seco

CONCEPTION : Arcadis

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE FIRST STORM SURGE BARRIER AT NIEUPOORT, BELGIUM

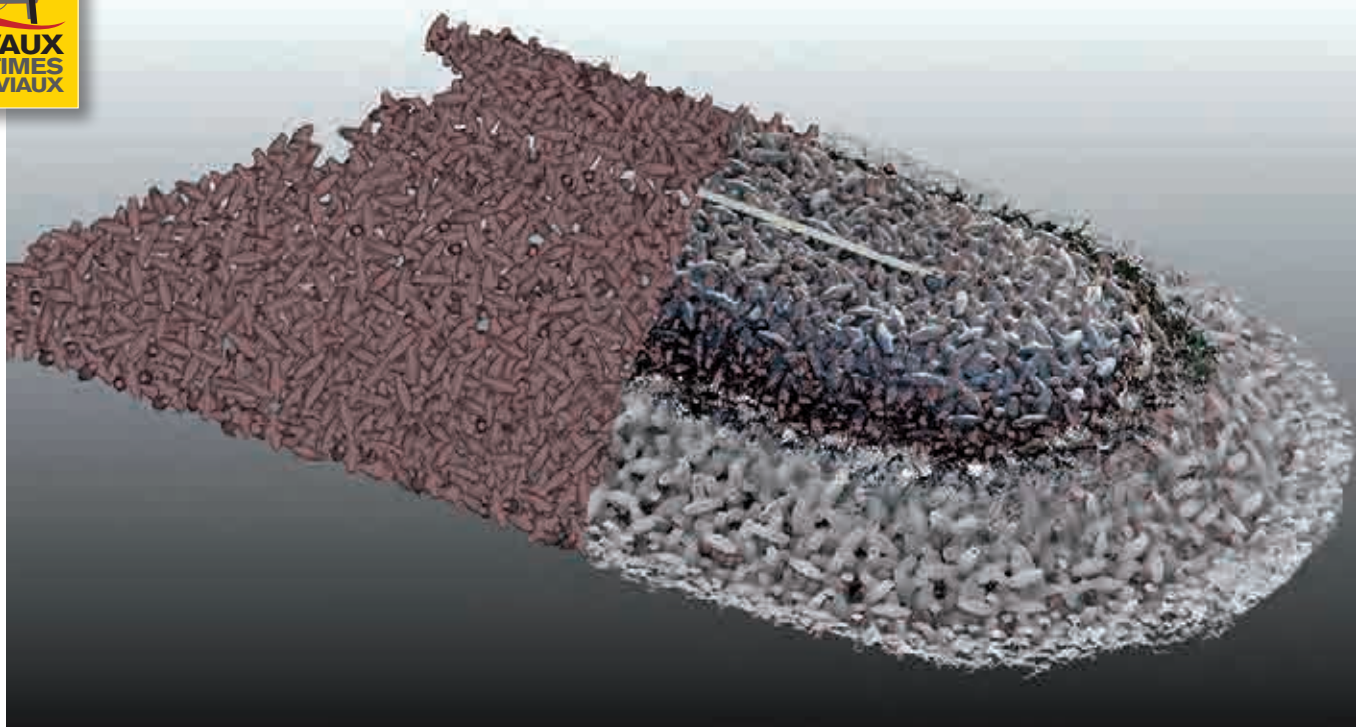
BENNY DE SUTTER, EIFFAGE BENELUX

Herbosch-Kiere (Eiffage) is building with Jan De Nul Group a storm surge barrier in the channel of the Belgian port of Nieuport, at the mouth of the Yser river. In the future, it will protect the town and the hinterland against strong storm waves. Protection by a storm surge barrier is already necessary to counter ten-year risk. The work in progress will provide protection from the most violent storm waves. The movable steel barrier pivots between two cast steel shafts which are anchored in the concrete abutments connected to the banks of the Yser. The barrier plunges into a concrete base at the bottom of the port channel. When a storm wave is expected, a 90-degree rotation is applied to the barrier in order to place it in retaining position. For maintenance, 180-degree rotation can be applied. □

CONSTRUCCIÓN DE LA PRIMERA PRESA ANTI-TEMPESTAD EN NIEUPOORT (BÉLGICA)

BENNY DE SUTTER, EIFFAGE BENELUX

Herbosch-Kiere (Eiffage) está construyendo con Jan De Nul Group una presa anti-tempesdad en el canal del puerto de Nieuport, en Bélgica, en la desembocadura del río Yser. En el futuro, protegerá la ciudad y el interior del país de las fuertes mareas de tempestad. La protección mediante la presa anti-tempesdad ya es necesaria en términos de riesgo decenal. Las obras en curso ofrecerán protección contra las mareas de tempestad más violentas. La presa de acero móvil pivota entre dos ejes de acero moldeado anclados en los estribos fijados a las orillas del Yser. La presa penetra en una base de hormigón, en el fondo del canal del puerto. Cuando se prevé una marea de tempestad, se aplica una rotación de 90 grados de la presa para colocarla en posición de contención. Para el mantenimiento, puede aplicarse una rotación de 180 grados. □



1

© ARTELIA/ID OCEAN

LE JUMEAU NUMÉRIQUE AU SERVICE DE L'INSPECTION DE CARAPACES DE DIGUES POUR FACILITER ET FIABILISER LES PLANS DE GESTION PATRIMONIALE

AUTEURS : CYRIL GIRAUDEL, INGÉNIEUR CONSEIL, ARTELIA - ALBERTO GUTIERREZ, INGÉNIEUR MARITIME, ARTELIA - STEVEN LE BARS, INGÉNIEUR MARITIME HYDROGRAPHE, ID OCEAN - VINCENT MACAIGNE, INGÉNIEUR MARITIME HYDROGRAPHE, ID OCEAN

LA COMBINAISON DE NOUVELLES TECHNOLOGIES PERMETTANT DE RÉALISER DES BATHYMÉTRIES EXTRÊMEMENT DÉTAILLÉES ET L'UTILISATION DE DRONES RÉVOLUTIONNENT TOTALEMENT LES FAÇONS D'APPRÉHENDER LES INSPECTIONS D'OUVRAGE. C'EST PARTICULIÈREMENT LE CAS DANS LE DOMAINE DES DIGUES MARITIMES OÙ CES NOUVELLES TECHNOLOGIES COUPLÉES À DES MÉTHODOLOGIES INNOVANTES PERMETTENT D'OBTENIR DES ÉTATS FACTUELS DES STRUCTURES. GRÂCE AU DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX ALGORITHMES DE RECONNAISSANCE DE FORMES DANS DES NUAGES DE POINTS, IL EST POSSIBLE DE RÉALISER DES JUMEAUX NUMÉRIQUES PRÉCIS ET D'ASSURER UNE GESTION PATRIMONIALE DES OUVRAGES COHÉRENTE, COMPATIBLE AVEC DES DÉLAIS EXTRÊMEMENT COURTS.

LE CONTEXTE DES DIGUES À TALUS

Les ouvrages maritimes sont des structures soumises aux fluctuations de la météo et du climat. Les digues à talus sont les ouvrages les plus utilisés pour protéger aussi bien des infrastructures portuaires, les côtes littorales que d'autres infrastructures. Ces ouvrages sont malléables, en constante évolution, presque "vivants".

Les digues sont bien souvent protégées par des carapaces, qu'elles soient réalisées en blocs naturels ou en blocs arti-

ficiels, elles font partie de ces ouvrages qui réagissent et se modèlent en fonction des événements climatiques.

Les conditions de houle définissent la taille des enrochements à mettre en place pour protéger une digue. Plus les houles sont fortes et agressives, plus les enrochements doivent être massifs pour être stables.

Les seules conditions de houle ne suffisent pas à choisir entre enrochements naturels ou enrochements artificiels. En effet, certaines zones, voire certains pays ne disposent pas de carrières pour

1- Nuage de points et reconnaissance de blocs 3D en cours sur le musoir de la digue principale du port de pêche de Duqm (Oman).

1- Scatter diagram and 3D block reconnaissance underway on the pier head of the main breakwater of Duqm Fishing Port (Oman).

extraire une quantité suffisante d'enrochements, même de petite taille.

C'est pourquoi il est parfois plus économique de fabriquer directement des enrochements artificiels plutôt que d'importer des enrochements naturels sur site.

UNE PRISE DE CONSCIENCE EN COURS

Un véritable changement de vision de ces ouvrages maritimes s'opère actuellement chez les acteurs de la construction. En effet, ces ouvrages

aits "vivants" subissent de plein fouet les conséquences du changement climatique et nombre de ces ouvrages construits plusieurs décennies auparavant montrent des signes de fatigue. Jusqu'alors, il n'était pas coutume de réaliser des actions de maintenance préventive de ces ouvrages et il fallait attendre que des dégâts importants se déclarent pour que des actions d'inspection et de réparation soient mises en œuvre.

De plus, d'autres acteurs tels que les assureurs s'intéressent à l'évolution des conditions climatiques et ses effets sur les infrastructures. Ils sont de plus en plus regardants sur les conditions d'indemnisation relatives à ces ouvrages ou à ce qu'ils protègent dans ce contexte où le réchauffement climatique ne cesse d'accroître la pression sur les infrastructures existantes.

Aujourd'hui les impératifs économiques guident les choix en termes de conception des ouvrages et les marges de sécurité sont de plus en plus minces même si l'on sait, mieux que par le passé, qualifier et prévoir les événements climatiques.

La pérennisation des ouvrages existants est un impératif à la fois économique et écologique. La construction de nouveaux ouvrages est fortement consommatrice de ressources et émettrice de carbone. Il est donc nécessaire de limiter ces impacts en maintenant les ouvrages existants en état de fonctionnement en les améliorant afin qu'ils puissent assurer leur fonction dans les décennies à venir. L'inspection et la maintenance des ouvrages est donc une nécessité impérieuse pour assurer la continuité de fonctionnalité des infrastructures ou des structures qu'ils protègent.



2 © ID OCEAN

2- Port de pêche de Duqm, digue principale. Ligne d'inspection multifaisceaux.

3- Image général des ouvrages inspectés au Port de pêche de Duqm.

4- Construction de la carapace Core-Loc™ au musoir de la digue secondaire du port de pêche de Duqm.

2- Duqm Fishing Port, main breakwater. Multiple-beam inspection line.

3- General picture of the structures inspected in Duqm Fishing Port.

4- Construction of the Core-Loc™ shell on the pier head of the secondary breakwater of Duqm Fishing Port.

C'est dans ce contexte qu'Artelia et ID Océan ont mis au point de nouvelles méthodologies de surveillance des digues maritimes à talus. Deux expériences récentes ont permis de mettre au point les équipements et les méthodologies associées pour réaliser des diagnostics de carapaces monocouches fiables.

SPÉCIFICITÉ DES BLOCS MONOCOUCHE

Les deux chantiers décrits ci-après ont été construits avec des blocs dits "monocouche", c'est-à-dire que la fonction primaire de protection est assurée par une seule et unique couche de blocs en béton non armé comme les blocs Accropode™ ou Core-Loc™. Ces éléments en béton ont la capacité de s'imbriquer les uns avec les autres afin d'obtenir une forte cohésion et assurer la stabilité. Ces types de carapaces dont le pionnier l'Accropode™ est né en 1980, ont la réputation d'être à la fois fiables et économiques aussi bien au moment de la construction que pendant la vie de l'ouvrage. En effet,

à la différence des blocs naturels ou des enrochements artificiels multicouches, il n'y a pas besoin de recharger régulièrement la carapace pour compenser la perte d'éléments mis en mouvement et éparpillés devant l'ouvrage, comme c'est souvent le cas pour les cubes ou les BCR.

Les blocs de carapace sont en général préfabriqués sur site. Leur pose se fait au moyen de grues à treillis ou de pelles mécaniques de grande capacité.

INSPECTION PAR MOYENS NUMÉRIQUES INNOVANTS

La réalisation des inspections s'appuie sur des moyens légers, facilement transportables et opérables en quelques heures.

Le drone, le sonar et son équipement de positionnement sont installés en quelques heures et calibrés sur une embarcation légère. Le relevé de la carapace est rapide en naviguant à 2 nœuds le long des ouvrages, cela permet de couvrir de grandes distances en peu de temps.

MÉTHODOLOGIE DES INSPECTIONS

Les inspections de carapaces s'appuient sur :

- La réalisation de relevés de nuages de points géoréférencés par photogrammétrie drone, lidar et relevés multifaisceaux ;
- Ces nuages de points sont ensuite transformés grâce à l'algorithme Seabim® développé et breveté par la société ID Océan en modèle 3D permettant de réaliser un jumeau numérique de l'intégralité de la carapace avec une précision relative centimétrique ;



3 © SEIZAD



4 © ARTELIA



5- Vue aérienne de la digue et de la "Marine" de Sainte-Rose (La Réunion) en 2021.

6- En 2000 la construction de la marine avait commencé et la préfabrication des blocs Accropode™ de 12 et 16 m³ était réalisée sur le site.

5- Aerial view of the breakwater and the "Marine de Sainte Rose" (Reunion Island) in 2021.

6- In 2000, construction of the Marine fishing port had begun and precasting of the Accropode™ blocks of size 12 and 16 m³ was performed on the site.

→ Ces modèles 3D sont ensuite analysés pour détecter les possibles non-conformités, blocs cassés ou configurations à risque. En particulier, des règles géométriques peuvent être appliquées à tout l'ouvrage et détecter une anomalie (hors profil, défaut de densité, position interdite, aération rendant perméable la carapace à l'extraction d'un bloc de sous-couche, etc.) ;

→ Ces éléments permettent de créer des points d'étape tout au long de la vie de l'ouvrage afin de les comparer et de suivre l'évolution sur le principe soit d'inspections régulières soit d'inspections post événement.

Ces techniques permettent d'obtenir un état précis de la carapace en bloc artificiels. Elles ont aussi leurs limitations. En effet, dans les mers sans marée, le relevé des blocs au niveau de la ligne d'eau est plus complexe et nécessite des modes opératoires permettant de doubler le nombre de points pour recalibrer la partie hors d'eau avec la partie sous-marine. En mer à marnage, le relevé drone est réalisé à marée basse et le relevé bathymétrique à marée haute, ce qui permet d'obtenir un recouvrement des deux parties et facilite grandement la convergence des nuages de points.

Par ailleurs, ces techniques sont non seulement utilisées après la construction dans un but de gestion patrimoniale mais aussi durant la construction

pour s'assurer de la bonne imbrication des blocs de carapace. Cela facilite grandement la réception des travaux car les données sont claires et objectives et peuvent être remises à jour après un simple scan aussi souvent que nécessaire. De nouveaux outils permettent aujourd'hui d'accéder à des zones de faibles profondeurs d'eau jusqu'alors inaccessibles.

Les deux ouvrages pris en exemple ont des caractéristiques différentes et les

méthodes ont montré leur adéquation avec chacune de ces structures.

PORT DE PÊCHE D'AL DUQM À OMAN

Le port de pêche d'Al Duqm fait partie du plan du gouvernement du Sultanat d'Oman de développement de la zone économique spéciale de Duqm. La zone économique spéciale de Duqm est située dans le gouvernorat d'Al Wusta, au centre du Sultanat d'Oman,

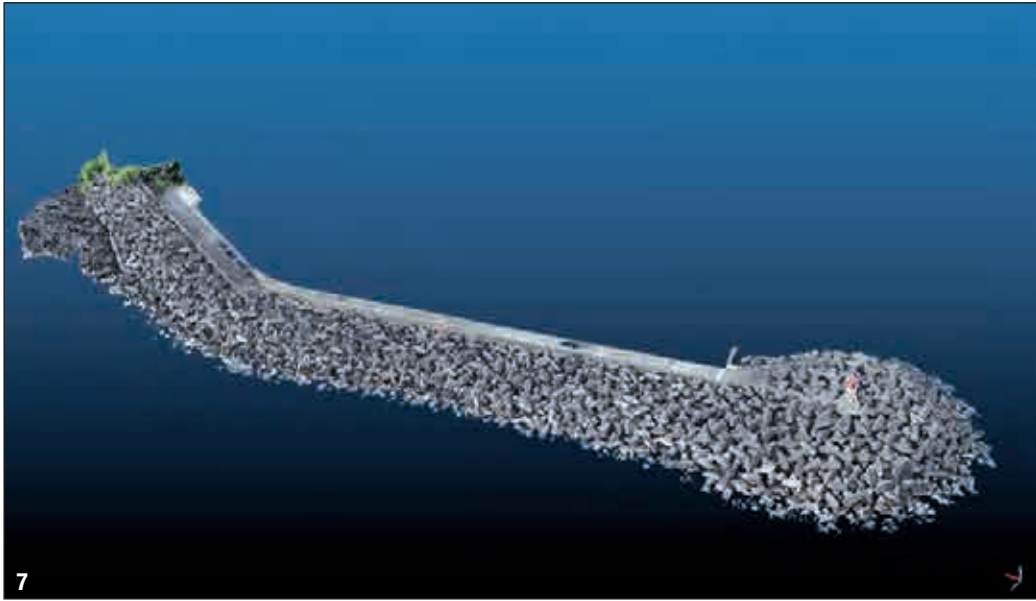
à une distance de 550 km de la capitale Mascate.

Le port de pêche d'Al Duqm à Oman a été construit entre 2015 et 2020 par la société Galfar Engineering and Contracting.

Il s'agit du plus grand port de pêche du Sultanat avec une superficie de 600 ha et une profondeur maximale de 10 m.

Le port est protégé par deux grandes digues construites avec des blocs de





© ID OCEAN
7

7- Nuage de points de la carapace en partie émergée issue de la photogrammétrie.

8- Nuage de points de la carapace en partie immergée issue d'une bathymétrie.

9- Une fois les deux nuages de points associés, la carapace est prête pour la détection automatique des blocs.



© ID OCEAN
8

7- Scatter diagram of the partly emerged shell based on photogrammetry.

8- Scatter diagram of the partly submerged shell based on bathymetry.

9- Once the two scatter diagrams have been linked, the shell is ready for automatic block detection.



© ID OCEAN
9

carapace artificielle Core-Loc™ de taille variant de 1 m³ jusqu'à 6 m³.

La digue principale d'une longueur totale de 2 km est posée sur un fond sableux allant de 0 à 10 m de profondeur, tandis que la digue secondaire d'une longueur totale de 1 km atteint une profondeur maximale de 8,5 m. Les deux digues ont été construites exclusivement par moyens terrestres en utilisant des grues à treillis pour la pose des blocs Core-Loc™ et des pelles mécaniques pour les enrochements. À l'achèvement des travaux de construction des digues de protection, l'entreprise titulaire du marché de travaux a souhaité réaliser une inspection en vue d'obtenir un état factuel lors de la réception des carapaces par le maître d'ouvrage.

Les acquisitions de données sous-marines ont été réalisées en utilisant un sonar de type R2 Sonic 2022.

Pour cette opération, ID Océan a adapté son équipement afin qu'il soit transportable et exportable facilement à Oman. Le matériel a alors été installé sur une embarcation légère, puis calibré. ▷



10

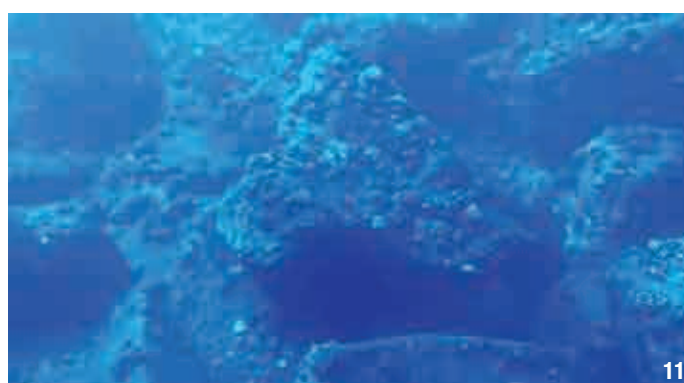
© ID Océan

L'installation et la calibration ont pris au total une journée.

Pour scanner les carapaces en Core-Loc™ hors d'eau, un prestataire local a été mandaté par l'entreprise de construction pour réaliser un relevé photogrammétrique au moyen d'un drone (figures 1 et 2).

Trois jours complets ont été nécessaires pour scanner les 4 km de carapaces sous-marines, en comptant la calibration du multifaisceaux et la photogrammétrie aérienne.

Afin d'assurer la fiabilité des données, plusieurs scans bathymétriques ont été nécessaires. Cette procédure était importante afin d'être certain d'obtenir des jeux de données exploitables après avoir effectué la mission sur site. En effet le travail de nettoyage des données ne pouvait pas être réalisé sur place compte tenu des conditions et il était donc impossible de vérifier sur site que les données étaient compatibles avec les spécifications de l'algorithme de reconnaissance de forme. En cas d'échec il aurait fallu revenir sur place pour refaire les mêmes scans.



11

C'est un paramètre qui a aujourd'hui évolué car les données peuvent être vérifiées sur site grâce à des traitements automatisés plus performants développés par ID Océan.

La marée était un facteur important à prendre en compte pendant l'acquisition de données. Le régime de marée à AI Duqm est un régime semi-diurne, avec un marnage d'approximativement 1,4 m.

Au moment de l'acquisition, la marée haute se produisait en fin d'après-

midi, ce qui permettait d'avoir une longue fenêtre d'action pour scanner la carapace Core-Loc™ tout au long de la journée.

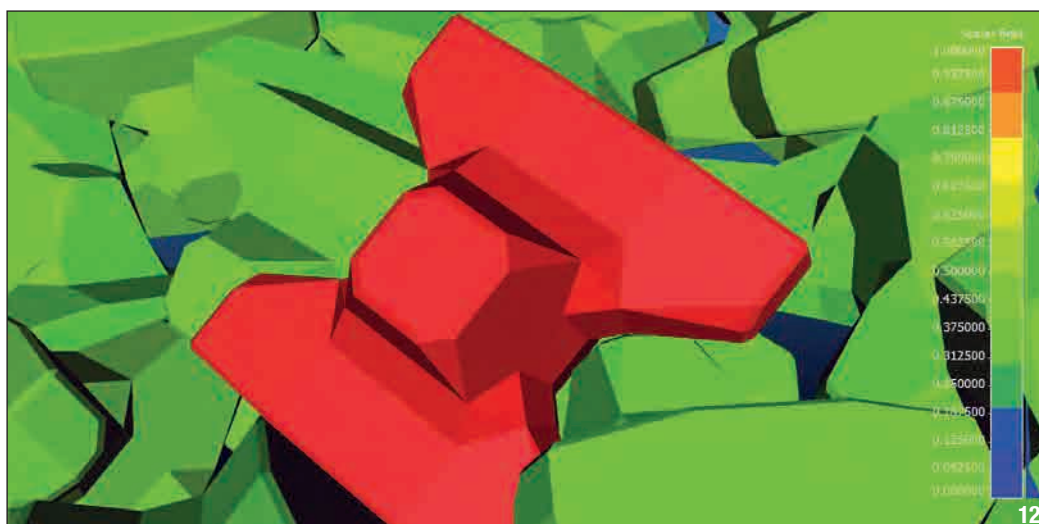
Les levés bathymétriques ont été réalisés en privilégiant ces heures de marée haute, pour pouvoir couvrir le maximum de surface de carapace possible au-dessous de l'eau. Par ailleurs la société en charge de réaliser la photogrammétrie aérienne, devait privilégier les heures de marée basse pour avoir un recouvrement maximal des données,

entre la photogrammétrie aérienne et le scanner multifaisceaux.

Le jumeau numérique géoréférencé ainsi créé constitue le point de base pour les inspections futures de la carapace. Celles-ci seront grandement facilitées car la base de données créée permet maintenant de suivre l'évolution des carapaces en comparant les états entre deux inspections. Les inspections futures pourront alors être calées dans le temps, par exemple sur des bases régulières ou après chaque événement météorologique important, comme des cyclones ayant généré des houles significatives sur l'ouvrage (figures 3 et 4).

CONSTRUCTION DE LA DIGUE DE SAINTE-ROSE

La digue de la marine de Sainte-Rose construite en 2000 et 2001 a une longueur de 230 m positionnée sur un fond basaltique autour de -6 m en moyenne. Cette digue est située en zone cyclonique dans la partie Est de l'île de la Réunion. Les fonds marins environnants sont raides avec de petites falaises à proximité. Cette digue



12

© ID Océan

10- Modèle 3D de la carapace de la digue de Sainte-Rose.

11 & 12- Exemple de blocs détectés automatiquement comme hors profil.

10- 3D model of the shell of the Sainte-Rose breakwater.

11 & 12- Example of blocks detected automatically as non-conforming.

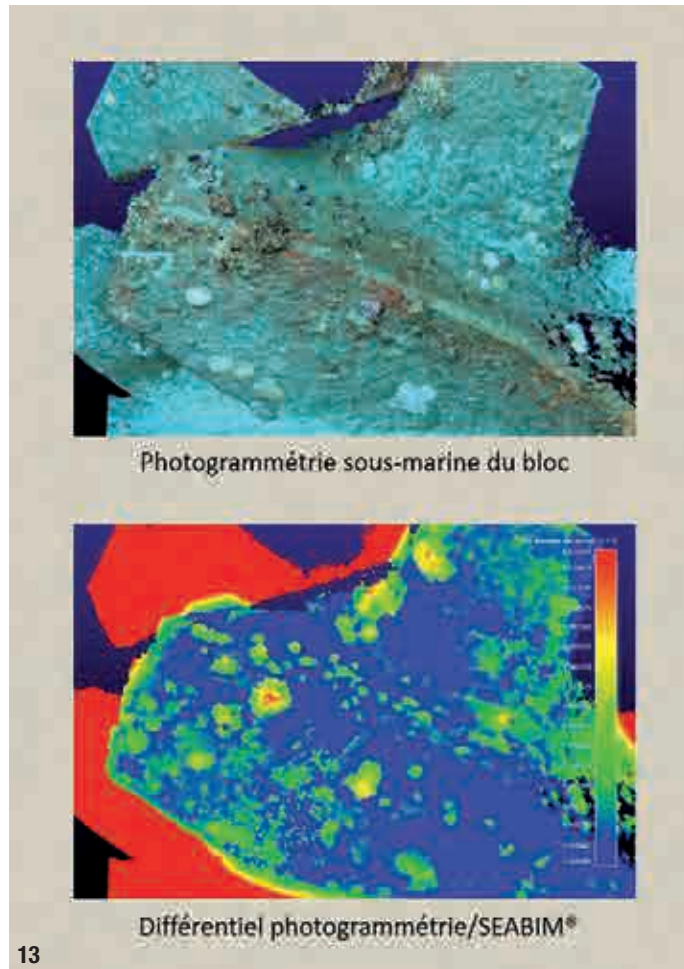
13- Estimation quantitative du développement corallien sur les blocs par comparaison entre une photogrammétrie sous-marine du bloc et sa forme originale réelle trouvée par l'algorithme.

13- Quantitative estimate of coral development on the blocks by comparison between underwater photogrammetry of the block and its actual original shape found by the algorithm.

est protégée par des blocs Accropode™ de 12 m³ dans sa zone centrale et des blocs de 16 m³ à l'enracinement et au musoir (figures 5 et 6).

La pose des blocs de carapace a été réalisée avec une grue à treillis et des élingues métalliques. La mise en place des blocs Accropode™ en partie sous-marine était assistée par des équipes de scaphandriers pour s'assurer de l'imbrication des blocs entre eux. L'assise de la carapace est constituée d'une souille creusée dans le fond basaltique à une profondeur comprise entre -2 et -7 m (figure 7).

La partie sous-marine a été relevée grâce à un sonar multifaisceaux R2 Sonic 2022 et un système de positionnement très précis permettant de fiabiliser les données (chaque point)



© ID OCEAN

avec une précision là encore de 3 à 4 cm. La méthodologie mise en place par ID Océan permet d'obtenir une densité de points très élevée avec peu de faux échos qui brouillent le nuage de points (figure 8).

Les nuages de points créés hors d'eau et sous-marins ont ainsi été assemblés

pour ne former qu'un seul nuage de points géoréférencés de haute précision. Compte tenu de la précision de ces nuages de points, ils sont aussi directement exploités par les experts en analyse de digues pour affiner les diagnostics. En effet certains détails ne sont pas visibles sur les modèles 3D,

comme la sédimentation en pied de digue ou même l'érosion du fond.

L'ensemble de la digue a donc été numérisé en moins d'une journée sur site (figure 9).

RECONNAISSANCE DE FORME 3D GRÂCE À L'ALGORITHME

Pour la digue de Sainte-Rose, la reconnaissance de forme a été relativement facile dans la mesure où les blocs de carapace de type Accropode™ I sont gros et les conditions de réalisation des relevés drone et sonar multifaisceaux étaient optimales.

De fait, le nuage de points produit a permis de reconnaître automatiquement plus de 850 blocs. Seuls quelques blocs ont dû être recalés semi-manuellement (un algorithme de reconnaissance de forme local est appliqué après un positionnement approximatif du bloc proche de sa position estimée) car ils étaient fortement enchâssés entre les autres et peu de surfaces étaient visibles. En 2021, la reconnaissance automatique des blocs par l'algorithme aura duré quelques heures pour la carapace de Sainte-Rose. Aujourd'hui celle-ci serait encore plus brève (figures 10, 11 et 12).

Par ailleurs sur cet ouvrage construit il y a une vingtaine d'année, la colonisation corallienne est très importante. Une couche de plusieurs centimètres de corail enveloppe les blocs situés entre -1 m et -5 m. Cette colonisation atteint plusieurs dizaines de centimètres sur certains blocs, créant un véritable récif artificiel. Cependant cela n'a pas posé de problème pour la reconnaissance automatique des blocs par l'algorithme (figure 13). □

ABSTRACT

DIGITAL TWIN USED FOR THE INSPECTION OF BREAKWATER SHELLS TO FACILITATE AND IMPROVE THE RELIABILITY OF ASSET MANAGEMENT PLANS

CYRIL GIRAUDEL, ARTELIA EAU AFRIQUE MOYEN ORIENT - ALBERTO GUTIERREZ, ARTELIA EAMO - STEVEN LE BARS, ID OCEAN - VINCENT MACAIGNE, ID OCEAN

This exhaustive inspection solution makes it possible to identify critical areas of the structure in a few moments, to identify broken blocks on the structure and to compare factual data between two states. Any block movement or anomaly can therefore be identified in a few seconds, when several days' work was needed previously. Unlike visual inspections by divers, it does not require that the water be clear. Future inspections will make it possible to refer in the same way to the previous states. The result is improved monitoring and substantial cost savings, because inspections are performed in a few hours for small structures and up to a few days for very large structures. Once the conclusions on the state of the shell have been submitted to the client, the client can manage the maintenance plan for its structure on an informed basis. □

EL GEMELO DIGITAL AL SERVICIO DE LA INSPECCIÓN DE PANTALLAS DE DIQUES PARA FACILITAR Y FIABILIZAR LOS PLANES DE GESTIÓN PATRIMONIAL

CYRIL GIRAUDEL, ARTELIA EAU AFRIQUE MOYEN ORIENT - ALBERTO GUTIERREZ, ARTELIA EAMO - STEVEN LE BARS, ID OCEAN - VINCENT MACAIGNE, ID OCEAN

Esta exhaustiva solución de inspección permite identificar rápidamente las zonas críticas de la obra, localizar los bloques fracturados en la construcción y comparar datos factuales entre dos estados. De este modo, cualquier movimiento de bloque o anomalía puede ser identificado en pocos segundos, cuando antes se precisaban varios días de intervención. Contrariamente a las inspecciones visuales a cargo de buzos, esta técnica no precisa que el agua sea clara. Asimismo, las futuras inspecciones permitirán consultar los estados anteriores. Ello permitirá un mejor seguimiento y un notable ahorro ya que las inspecciones se realizan en varias horas para pequeñas construcciones o varios días para las estructuras más grandes. Una vez entregadas las conclusiones sobre el estado de la pantalla al responsable de la instalación, éste puede gestionar el plan de mantenimiento con pleno conocimiento de causa. □



1
© ARISE MAURITANIE

PORT DE NOUAKCHOTT : UNE EXTENSION POUR SUIVRE L'EXPANSION

AUTEURS : ÉRIC FERNAGU, CHEF DE PROJET DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE, EGIS -
JÉRÔME GIRODET, CHEF DE MISSION DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE, EGIS

LE NOUVEAU TERMINAL CONTENEUR DE NOUAKCHOTT RÉPOND AUX BESOINS DE MODERNISATION ET DE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCONOMIE DE LA MAURITANIE ET PLUS GÉNÉRALEMENT DE CELLE DU SAHEL. LES DÉFIS ASSOCIÉS SONT NOMBREUX : VALORISER AU MIEUX L'ESPACE DISPONIBLE AU SEIN DU PORT DE L'AMITIÉ DE NOUAKCHOTT, COMBINER DES FONCTIONNALITÉS DE MANUTENTION CONTENEURS ET HYDROCARBURES AU SEIN D'UN MÊME TERMINAL OU PARFAIRE LA CONCEPTION D'UN OUVRAGE DANS DES CONDITIONS DE SOL PARTICULIÈRES.

Le port de Nouakchott, en Mauritanie, est situé à un carrefour maritime stratégique. En 2019, dans l'optique d'accompagner sa croissance au sein du commerce international, des travaux d'extension du port existant ont débuté. Le port devait se doter d'un

nouveau terminal conteneurs et hydrocarbures, avec son quai associé, ainsi que de bassins plus profonds et plus larges, afin d'accueillir des navires plus volumineux. Ces travaux ont été réalisés de fait dans un port en activité, tout en assurant à la fois le maintien nécessaire

1- Vue aérienne sud du quai en construction.

1- Southern aerial view of the quay under construction.

de l'activité du port, et l'intégrité des structures déjà existantes (figure 2). Le port autonome de Nouakchott dit "Port de l'Amitié", localisé sur la côte mauritanienne, est le premier port public commercial au sud du Sahara. Cette position géographique place le



© ARISE MAURITANIE
2

port sur des voies maritimes d'importance en provenance d'Europe et d'Afrique de l'Ouest. À l'échelle nationale, le port de Nouakchott est une voie d'entrée et de sortie incontournable pour les marchandises qui y transitent. Au fil des ans, le port est devenu un outil majeur du développement économique et social du pays. Afin de poursuivre cette croissance, et pour faire face à des volumes en croissance continue, l'état Mauritanien a confié à la société panafricaine Arise Mauritania (co-détenue par Arise Pcc et le fonds d'investissement Meridiam), une concession de 30 ans pour ce nouveau terminal au sein du Port de l'Amitié. Ce qui a constitué le premier partenariat public-privé de Mauritanie.

2- Vue Nord du terminal fini.

3- Vue 3D du terminal en opération à moyen-terme.

2- North view of the finished terminal.

3- 3D view of the terminal in operation in the medium term.

Le projet comprend l'aménagement, la construction et l'exploitation d'un nouveau terminal à conteneurs et hydrocarbures, grâce à un tout nouveau quai de 570 m de long, capable d'accueillir deux navires marchands à la fois.

La première phase, aujourd'hui terminée, consistait à rendre le port éligible à l'accueil d'un navire de 50 000 TPL (Tonnes Port en Lourd), avec une capacité d'expansion future. Cette capacité d'expansion doit lui permettre dans une seconde phase d'accueillir des navires de 84 000 TPL servant un parc de 22 ha (figure 3).

Le projet, de par la variété des travaux réalisés, a nécessité l'expertise de nombreux intervenants dont, en première ligne : Egis pour la maîtrise d'œuvre, Afcons Infrastructure pour les travaux de génie civil, le groupe Jan De Nul pour les travaux de dragage, Zpmc pour les portiques de quai, Cargotec pour les équipements de parc. Le chantier a débuté par la construction du quai, auquel a

succédé l'aménagement du terre-plein. Une fois le quai suffisamment avancé, d'importants travaux de dragage ont été menés à bien pour approfondir le chenal, les postes à quai et le bassin d'évitage. Enfin, les équipements portuaires et le raccordement de la sous-station au réseau électrique national ont été effectués afin de rendre le nouveau terminal pleinement opérationnel.

OBJECTIFS PORTÉS PAR LE TERMINAL ET AMÉNAGEMENT DU SITE

L'extension du port trouve une partie de son origine à des milliers de kilomètres des côtes mauritaniennes. En effet, avec l'élargissement du canal de Panama, une grande partie des navires de classe Panamax ont été réassignés à de nouvelles voies maritimes, en particulier les lignes desservant le continent africain. Le port de Nouakchott a donc dû répondre à ce changement, en construisant de nouveaux postes à quai pouvant accueillir à terme des navires de 84 000 TPL. La capacité initiale pour le nouveau terminal est de 250 000 EVP (Équivalent Vingt Pieds). Il est prévu que cette capacité du terminal soit portée à 600 000 EVP grâce à un parc d'une surface complète de 22 ha. Le projet d'extension du port de Nouakchott impliquait de gérer la présence d'un bâti existant qui devait rester accessible et intact durant toute la durée des travaux. Le port comprend donc, au moment du lancement des travaux en 2019, deux quais perpendiculaires à la plage. Le premier, situé au nord du site, compte trois postes à quai, servant essentiellement pour le transport de vrac. Ces quais sont accessibles depuis un pont de 730 m de long, qui longe un terminal pétrolier, capable d'accueillir des navires de 10 000 TPL. De l'autre côté du bassin, large de 580 m, se trouvent de part et d'autre du quai Sud quatre postes supplémentaires, dont deux sont principalement opérés à ce jour avec des grues mobiles de quai pour le transport conteneur et vrac (figure 4).

Le projet du nouveau terminal portuaire est donc venu s'intercaler entre ces deux quais afin de profiter de la protection des jetées et des infrastructures existantes. Long de 570 m de long et large de 46 m, le quai principal est adapté aussi bien aux porte-conteneurs qu'aux tankers pétroliers.

La manutention est assurée par deux grues portiques STS (Ship to Shore) guidées sur rail, avec une capacité maximum de cinq portiques à terme. ▷



© ARISE MAURITANIE
3

En plus de ces portiques, sont utilisés des portiques électriques mobiles de parc, montés sur pneus. Derrière le quai se trouve un parc à conteneur certifié ISPS, d'une superficie de 8 ha, l'ensemble des bâtiments de service et de logistique, ainsi qu'une sous-station dédiée au terminal. Ces deux zones sont séparées par une route de service qui traverse le site selon un axe Nord-Sud, afin de garantir le maintien des activités sur les quais Sud. Enfin, il est à noter qu'une chaussée adaptée à la circulation de charges lourdes revêt l'ensemble du terminal (figure 5).

Les accès nautiques existants ont été améliorés et modifiés pour répondre aux besoins associés aux navires Panama-max. Le chenal extérieur a été approfondi jusqu'à la cote de -14,70 m CD. Le chenal intérieur et le bassin d'évitement ont été approfondis et agrandis afin de permettre un accès indépendamment de la marée à la souille des nouveaux quais. La nouvelle souille s'étend ainsi sur 510 m de long et 50 m de large, pour une profondeur disponible de -14,30 m CD.

Enfin, la création d'un nouveau terminal pétrolier a nécessité le raccord du réseau de pipelines destiné au déchargement du quai principal à celui du terminal Nord existant. Ce chantier a englobé la conception, l'approvisionnement et l'installation des équipements suivants : tuyaux de déchargement, brides de connexion, conduites de transfert et tuyaux de raccordement. Tout un réseau par lequel transitent dans des conduites distinctes des produits variés : essence, fioul lourd, gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou kérosène pour avions.

LE PORT DE NOUAKCHOTT S'OFFRE UN NOUVEAU QUAI, SUR PIEUX CETTE FOIS

Le sol en place se compose d'une alternance de couches sableuses conglomérées ou meubles : sable à limon sablonneux en surface et sable argileux plus en profondeur. Les tests de cisaillement ont corroboré la nature sablonneuse du sable, avec un sol présentant un angle de frottement de 30 degrés, pour une faible cohésion, comprise entre 2 kPa et 7 kPa.

Le quai principal s'appuie sur 320 pieux circulaires en béton à la classe de résistance C35/45 et à la classe d'exposition XS2/XS3. Ces pieux de 1 400 mm de diamètre et de longueur variant de 56 à 37 m sont distribués selon une grille comprenant 5 plans latéraux et 64 plans longitudinaux. Le quai se termine côté terre-plein par un

mur de soutènement en palplanche AZ 42-700N, séparé du reste par un joint d'expansion de 50 mm. Le plancher repose sur des poutres en béton armé se trouvant au sommet des pieux. Il est constitué de dalles en béton préfabriquées d'épaisseur 380 mm, par-dessus lesquelles a été coulé du béton en place, de manière à obtenir une épaisseur de dalle finale de 700 mm (figure 6). Une spécificité supplémentaire de ce quai consiste dans son arrangement atypique pour un terminal

4- Début de la construction du terminal portuaire - vue Nord.

5- Vue Sud du terminal portuaire terminé.

4- Start of construction of the port terminal - North view.

5- South view of the completed port terminal.

conteneur puisque ses fonctionnalités répondent aussi au besoin du déchargement d'hydrocarbures. Pour répondre à ces fonctionnalités combinées, ces équipements incluent à la fois des défenses, bollards, équipements de sécurité, mais aussi des équipements spécifiques pour conteneurs (rails pour les portiques de quai) et hydrocarbures (conduite, crochets à dégagement rapide) (figure 7). Préalablement au démarrage des travaux et afin de valider le projet, des essais de chargement ont été réalisés



4

© ARISE MAURITANIE



5

© ARISE MAURITANIE



6

© ARISE MAURITANIE

sur des pieux-tests : un test de compression vertical cyclique, un test de chargement latéral classique et un essai dynamique à forte déformation. Ces pieux-tests et les essais associés ont été déterminants pour confirmer la conception et les méthodes constructives. En particulier, ils ont permis d'appréhender la complexité apportée par la succession de couches conglomérées et meubles sur les opérations successives requises pour la construction des pieux (figure 8).

6- Vue de la construction de la partie centrale du quai.

7- Vue en coupe du quai.

6- View of construction of the central part of the quay.

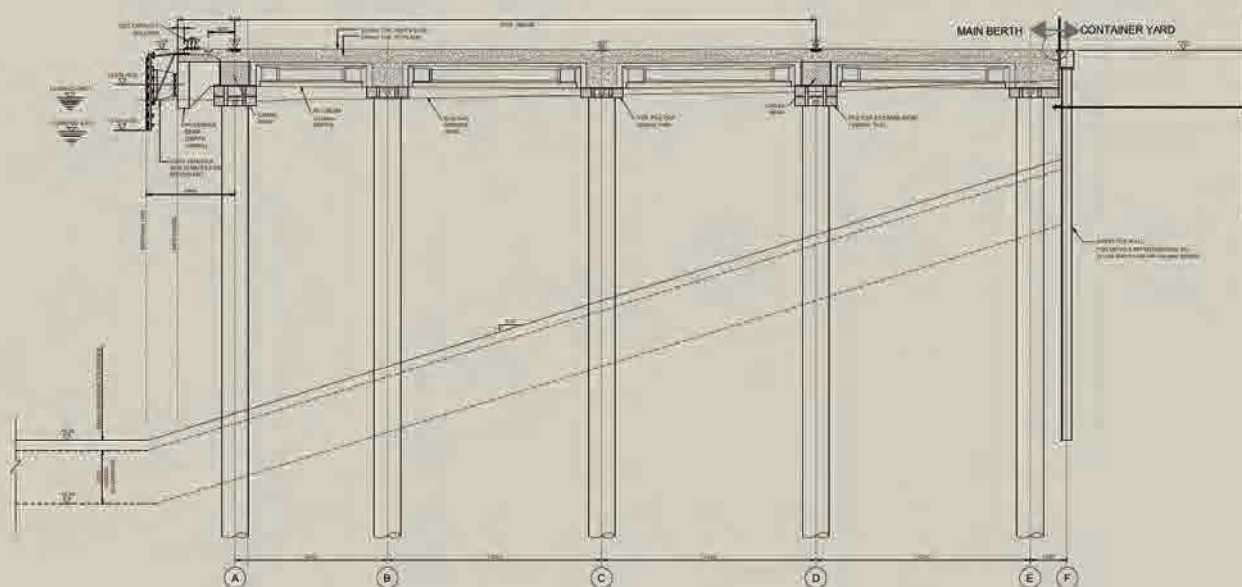
7- Cross-section view of the quay.

TERRASSEMENT, CONSTRUCTION ET AMÉNAGEMENT DU TERRE-PLEIN

La solution conceptuelle adoptée pour le terre-plein conteneur repose sur l'utilisation d'une chaussée en béton d'une épaisseur de 350 mm, en dehors des longrines nécessaires pour les portiques de parc. Les nombreux réseaux, électriques, hydrauliques mais aussi hydrocarbures ont nécessité la mise en place de tranchées de grandes dimen-

sions, qui ont été volontairement surdimensionnés afin de faciliter l'entretien et le développement futurs (figure 9). Parmi les infrastructures présentes sur le terre-plein, la sous-station électrique revêt une importance capitale. Elle vise ainsi à alimenter dès la première phase du développement de nombreux équipements parmi lesquels : les grues, les portiques de parc et les frigorifiques, et tous les dispositifs basse tension du terminal. ▶

VUE EN COUPE DU QUAI



© ARISE MAURITANIE

7



© JAN DE NIJL GROUP

11

DES TRAVAUX DE DRAGAGE D'ENVERGURE POUR AMÉLIORER LES ACCÈS NAUTIQUES EXISTANTS

En raison de la nécessité de permettre un accès au nouveau terminal aux navires de plus grande taille, une composante cruciale du projet consistait

dans l'amélioration des accès nautiques. Sa conception a été établie par Egis dans le respect de l'état de l'art dicté au travers des recommandations associées de l'Aipcn (the World Association for Waterborne Transport Infrastructure), puis vérifiée grâce à des

simulations en temps réel. En effet, la modification du bassin d'évitage s'est retrouvée contrainte par les structures existantes du port. Au final, le bassin d'évitage présente un diamètre de 474 m, soit 1,79 fois la longueur du navire de projet, pour

11- Le Willem van Rubroek, le plus puissant cutter du monde.

12- Vue aérienne du quai en passe d'être fini.

11- The Willem van Rubroek, the most powerful cutter in the world.

12- Aerial view of the quay nearing completion.

lequel il a été vérifié que ces nouvelles dimensions permettaient des manœuvres dans le bassin depuis et vers le nouveau terminal sans risques pour les navires en question ou autres acteurs du port.

Les accès nautiques existants ont été approfondis jusqu'à -14,7 m CM et -14,3 m CM respectivement à l'extérieur et intérieur du port pour permettre une navigation de navires jusqu'à 12,8 m de tirant d'eau. Ceci a donc aussi impliqué un allongement du chenal extérieur jusqu'aux profondeurs naturelles associées. ▷



© ARISE MAURITANIE

12

Les travaux de dragage ont été réalisés par le groupe Jan De Nul, avec transport et évacuation des matériaux de dragage vers des sites de clapage autorisés. Un volume de 3 millions de m³ a été évacué en 4 mois effectifs grâce à 2 dragues aspiratrices en marche, et une drague aspiratrice à désagrégateur avec système de déversement latéral remplissant 4 chalands fendables. Ces travaux de dragage ont nécessité à la fois le dragage de sables conglomérés (résistance de 5 à 10 MPa), mais aussi de vestiges des ouvrages temporaires de la construction des quais Sud en caissons entre les années 2010 et 2013. Ceci a toutefois été mené avec succès grâce à la mobilisation sur site du dernier né de la flotte du groupe Jan De Nul, une drague aspiratrice à désagrégateur, ou cutter, une des plus puissantes du monde, le "Willem van Rubroeck". Il fait 36 m de large pour 151 m de long. Il peut draguer jusqu'à 45 m de profondeur mais aussi travailler en zone exposée comme dans le cas de Nouakchott avec une forte exposition aux houles océaniques. Les pompes présentent chacune une puissance de 8500 kW tout comme la tête rotative coupante, pour une puissance totale embarquée de 40975 kW (figure 11). Les travaux, qui incluaient aussi l'amélioration des aides à la navigation, ont aussi été réalisés dans un environnement très contraint, sans impacts sur les ouvrages neufs et existants ni sur les activités portuaires durant toute la durée des travaux.

RETOUR SUR LA CHRONOLOGIE D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

Le premier ouvrage à être sorti de terre est le quai principal. De par la morphologie initiale de la plage, le quai principal a été construit, tantôt directement sur la



13 © ARISE MAURITANIE

plage existante, tantôt après création d'un rempiètement temporaire, tantôt à l'avancement grâce à deux plateformes posées directement sur les pieux définitifs. La construction s'est faite en six phases : construction des pieux béton,

13- Vue aérienne du terminal fini depuis la terre.

13- Aerial view of the finished terminal from the land.

mise en place des têtes de pieux et des éléments de poutre préfabriquées, mise en place du rideau de soutènement, mise en place des dalles préfabriquées puis bétonnage de finition in situ des dalles et enfin installation des équipements portuaires (figure 1).

La seconde partie des travaux a concerné la construction du terre-plein à conteneurs, d'une superficie de 8 ha, et l'aménagement des nombreuses infrastructures associées, sur 14 ha. Après de premiers travaux de démolition et de terrassement, les sols de fondation ont été préparés par compactage avant mise en place d'un revêtement de terre-plein fait de dalles en béton. Les travaux se sont poursuivis par l'installation des différents réseaux au travers des tranchées et par la construction des bâtiments de service et équipements associés (figure 12).

La phase finale des travaux a concerné le dragage, réalisé en parallèle des travaux menés à terre (figure 13). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR DU QUAÏ : 570 m
SURFACE DU TERRE-PLEIN : 22 ha, dont 8 ha pour le terre-plein conteneur
VOLUME DE DRAGAGE : 3 million m³
PIEUX : 320 u
CONDUITES HYDROCARBURES : 600 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Egis
TRAVAUX DE GÉNIE-CIVIL : Afcons Infrastructure
TRAVAUX DE DRAGAGE : Envisan (filiale du groupe Jan De Nul)
PORTIQUES DE QUAÏ : Zpmc
ÉQUIPEMENTS DE PARC : Cargotec

ABSTRACT

PORT OF NOUAKCHOTT: EXTENSION WORK TO KEEP UP WITH EXPANSION

ÉRIC FERNAGU EGIS - JÉRÔME GIRODET, EGIS

The project for construction of the new Nouakchott Container Terminal, with an ultimate maximum capacity of 600,000 TEUs, was designed to improve Mauritania's participation in international trade. After two years' work, commissioning of the port equipment and connection of the electric substation to the national grid marked the end of this first phase. The new port terminal will soon be ready to boost the constant growth of an activity which benefits a whole region. The project, carried out by Arise Pcc and Meridiam with the support of Egis, required the contributions of numerous companies having recognised port expertise, including Afcons Infrastructures Ltd for civil works and Jan De Nul Group for dredging. □

PUERTO DE NOUAKCHOTT: UNA AMPLIACIÓN PARA PROSEGUIR CON LA EXPANSIÓN

ÉRIC FERNAGU EGIS - JÉRÔME GIRODET, EGIS

El proyecto de construcción de la nueva terminal de contenedores de Nouakchott, con una capacidad máxima final de 600.000 TEU, tenía como objetivo integrar todavía más Mauritania en el comercio internacional. Tras dos años de obras, la puesta en servicio de los equipamientos portuarios y la conexión de la subestación eléctrica a la red nacional han marcado el final de esta primera fase. La nueva terminal portuaria está lista para apoyar el continuo crecimiento de una actividad que beneficia a toda una región. El proyecto, llevado a cabo por Arise Pcc y Meridiam, con el apoyo de Egis, ha precisado la intervención de numerosas empresas de reconocida competencia en el ámbito portuario, entre las cuales figuran Afcons Infrastructures Ltd para la ingeniería civil y el grupo Jan De Nul para el dragado. □



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr



1
© SYMADREM

DIGUE DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHÔNE ENTRE TARASCON ET ARLES ET MISE EN TRANSPARENCE D'UN REMBLAI FERROVIAIRE PARALLÈLE

AUTEURS : MATHILDE LETOURNEUX, MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LE COMPTE DU SYMADREM, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LE COMPTE DE SNCF RESEAU, EGIS - MATHIEU NORMAND, MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LE COMPTE DU SYMADREM, EGIS - GÉRALD FESQUET, MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LE COMPTE DE SNCF RESEAU, EGIS

SUITE À LA CRUE EXCEPTIONNELLE DU RHÔNE DE DÉCEMBRE 2003 QUI A TOUCHÉ PLUS DE 12 000 PERSONNES ET CAUSÉ PLUS DE 700 MILLIONS D'EUROS DE DOMMAGES, LE VOLET INONDATION DU PLAN RHÔNE A ÉTÉ MIS EN ŒUVRE AFIN DE PROTÉGER LA POPULATION DES INONDATIONS JUSQU'À UNE OCCURRENCE CENTENNALE ET LIMITER LES RISQUES DE BRÈCHES DANS LES OUVRAGES JUSQU'À LA CRUE MILLÉNALE. UN DES PILIERS DU PLAN RHÔNE EST LA CRÉATION D'UNE DIGUE DE 10 km ENTRE TARASCON ET ARLES ET LA MISE EN TRANSPARENCE DU REMBLAI FERROVIAIRE PARALLÈLE AU NOUVEL OUVRAGE HYDRAULIQUE.

CONTEXTE

Le Rhône et son delta sont soumis à des crues du Rhône et des tempêtes marines pouvant générer des crues très dommageables. Des aménagements ont ainsi vu le jour à partir du XII^e siècle afin de protéger des inondations les enjeux à proximité du Rhône.

Les systèmes d'endiguement du delta du Rhône ont été créés après les

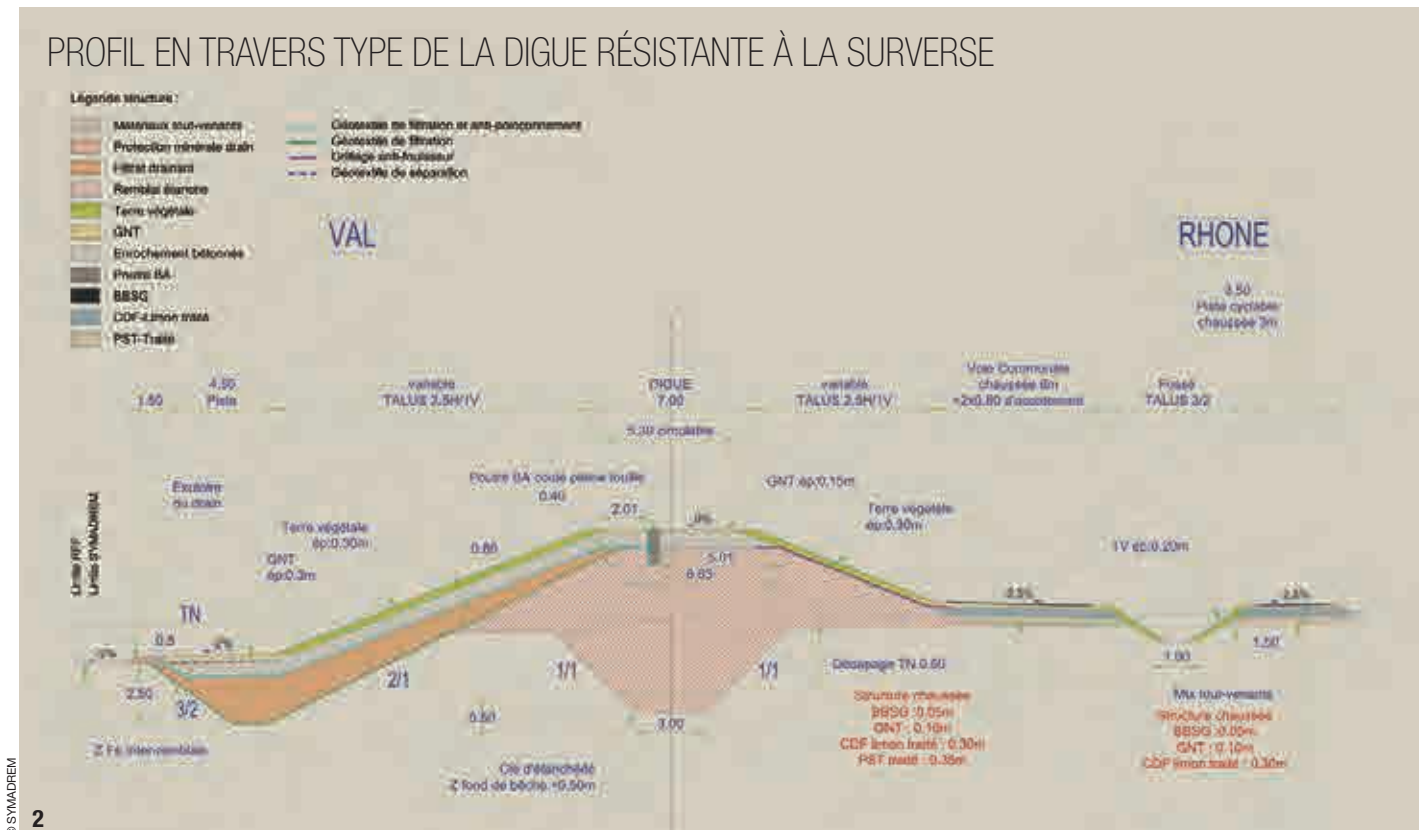
grandes crues de 1840 et 1856 en lieu et place des ouvrages plus anciens. Ces systèmes d'endiguement présentent des points de fragilité dus aux techniques de réalisation et rehaussements successifs des remblais les exposant fortement au risque de brèches. Depuis leur création, ces systèmes d'endiguement ont d'ailleurs subi plusieurs épisodes de crue du

1- Mise en œuvre de couches de remblai successives et compactage au pied de mouton.

1- Placing successive layers of back-fill and compacting by sheepfoot compactor.

Rhône importants qui ont conduit à la formation de nombreuses brèches pour lesquelles les digues ont fait l'objet d'opérations de confortement. Deux brèches sont notamment apparues sur les remblais des trémies de la voie ferrée au sud de la commune de Tarascon pendant la crue centennale des 3 et 4 décembre 2003. Le remblai de la voie ferrée était alors la seule

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA DIGUE RÉSISTANTE À LA SURVERSE



protection dont disposait le Trébon, la plaine du nord d'Arles, contre les eaux du Rhône. L'eau a atteint dans le Trébon des hauteurs variant de 60 cm à 2 m. Bien qu'une organisation administrative des digues du delta du Rhône existât depuis leur création, la crue de 2003 a accéléré et amplifié les actions de gestion et confortement des digues au travers de la mise en place du volet inondation du Plan Rhône.

La conception et la stabilité du remblai ferroviaire faisant office de digue en rive gauche du Rhône étant incertaine et ne permettant pas de répondre aux objectifs du Plan Rhône dans le respect des règles de l'art, il a été décidé de construire une digue parallèle à ce remblai ferroviaire, en recul du lit du Rhône, et de rendre hydrauliquement transparent le remblai ferroviaire.

Le chantier de construction de la digue entre Tarascon et Arles constitue, avec le confortement de la digue entre Beaucaire et Fourques sur la rive opposée, les piliers du Plan Rhône en amont de l'agglomération arlésienne.

Ces opérations, engagés par le Symadrem et SNCF Réseau, font intervenir plusieurs groupements d'entreprises. Le montant des travaux de création de la digue et de mise en transparence du remblai ferroviaire s'élèvent respectivement à 64,7 millions d'euros HT et 70 millions d'euros HT.

2- Profil en travers type de la digue résistante à la surverse.

3- Réalisation du complexe filtrant drainant de la digue.

2- Typical cross section of the breakwater resisting overflow.

3- Execution of the breakwater's filter drainage system.

CONSTRUCTION DE LA DIGUE

Les travaux de construction de la digue sont portés par le Symadrem en tant que maître d'ouvrage et réalisés par les groupements d'entreprises Valérien / Buesa / Berthouly / Crozel / Masoni / Stip pour les ouvrages en remblais et Dfc Battage / Nge Fondation pour les ouvrages en palplanches.

TYPES DE DIGUE

Trois types de digues sont construits sur ce linéaire de 10 km. Des ouvrages

en remblais zonés avec filtres drains : un tronçon de 5 km résistant à la surverse (figure 2) et des autres tronçons non surversants (appelés digues millénales). Un ouvrage mince réalisé en palplanches assurant la continuité Nord de la protection au droit d'une forte contrainte d'emprise (site industriel classé seveso).

RÉALISATION DU CORPS DE DIGUE

Le corps de la digue en remblai, essentiellement composé de matériaux limono-argileux, doit être réalisé dans les règles de l'art avec des techniques de mise en œuvre et de contrôles spécifiques afin d'en garantir la sûreté et la durabilité sur les 100 prochaines années. Les matériaux qui composent le corps de digue subissent préalablement une batterie d'analyses en laboratoire et de tests in situ afin de les caractériser précisément, selon la classification GTR d'une part mais également selon les objectifs spécifiques permettant d'atteindre la sécurité hydraulique inhérente aux ouvrages de protection. Avant la mise en remblai de ces matériaux sélectionnés, la zone d'assise de la digue est décapée et purgée des terrains hétérogènes puis une clé d'étanchéité est réalisée avec les matériaux préalablement sélectionnés puis compactés.



© SYMADREM



4

© SYMADREM

La réalisation de cette clé d'étanchéité doit faire l'objet de la même attention que le remblai du corps de digue car elle constitue l'ancrage, participe au support de la digue et assure l'étanchéité de l'interface avec la fondation. S'en suit la mise en remblai des matériaux sélectionnés pour constituer l'élévation de la digue, compactés par couches de forme et selon la méthode dite excédentaire, étape cruciale pour assurer la pérennité de l'ouvrage (figure 1). La réalisation des remblais en matériaux limono-argileux doit suivre un processus méthodique préalablement défini lors des planches d'essais spécifiques afin d'obtenir une densité optimale des matériaux après compactage. Les matériaux sont compactés au rouleau à pieds de mouton par couches de 30 cm, avec un ajustement de la teneur en eau permettant l'atteinte des objectifs de densité. Les ajustements de teneur en eau, réalisés par aération ou humectation, via des arroseuses enfouisseuses, sont complétés par un malaxage pour garantir l'homogénéité des matériaux préalablement à leur compactage.

CONTRÔLES GÉOTECHNIQUES

Afin de s'assurer que le matériau est correctement mis en œuvre, des contrôles géotechniques sont réalisés en continu dans le cadre du chantier tels que des analyses granulométriques et sédimentométriques, des suivis de la teneur en eau, des essais Proctor, des essais au pénétromètre et au

gammadensimètre. Les fréquences d'intervention sont adaptées au type d'essai et définies à l'avance pour pouvoir ajuster les moyens de contrôle à la cadence de mise en remblai. Au total plus de 15 000 contrôles géotechniques sont réalisés dans le cadre du chantier. Ces contrôles géotechniques sont réalisés avec un double contrôle :
 → Le contrôle interne réalisé par le laboratoire du groupement d'entreprises ;
 → Le contrôle extérieur par un bureau d'étude spécialisé, intervenant sous la responsabilité du maître d'ouvrage et supervisé par le maître d'œuvre.

En cas d'irrégularité constatée pendant les contrôles de compacité, les couches de remblai sont démontées, caractérisées, puis remises en œuvre afin d'obtenir le résultat souhaité, d'où la nécessité de réactivité du laboratoire géotechnique de chantier.

RÉALISATION DU COMPLEXE FILTRANT DRAINANT

Suite à la réalisation du remblai étanche de la digue, est mis en œuvre un dispositif spécifique permettant d'accroître le niveau de sécurité de l'ouvrage en contrôlant la progression des éventuelles infiltrations à travers le

remblai et en limitant ainsi les risques d'érosion interne.

Ce dispositif, appelé " complexe filtrant drainant ", recoupe l'intégralité du parement aval de la digue depuis la crête jusqu'au pied aval (figure 3), avec réalisation d'une bêche drainante plus profonde que la clef d'ancrage.

Sa continuité est assurée également au droit des ouvrages hydrauliques traversant la digue et des discontinuités de profils. Il a été décidé en phase conception que ses fonctions de filtration et drainage soient assurées par 2 matériaux distincts :



5

© SNCF RESEAU

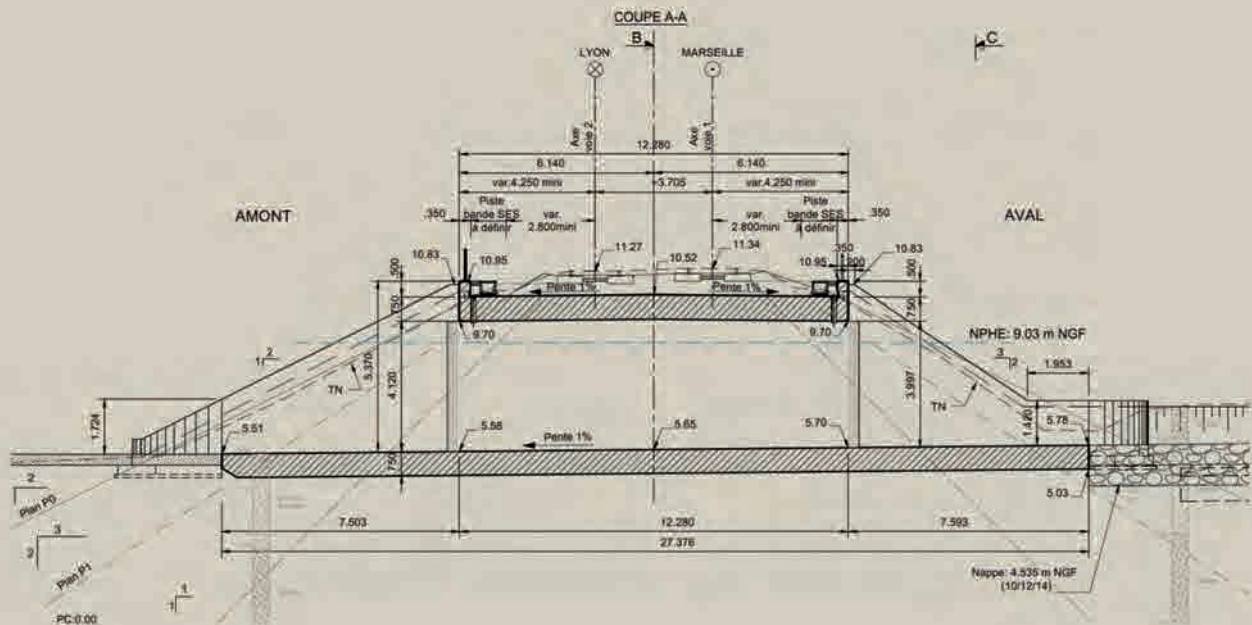
4- Confortement du parement aval de la digue résistante à la surverse.

5- Construction d'un des 10 ouvrages de transparence hydraulique.

4- Consolidation of the downstream facing of the breakwater resisting overflow.

5- Construction of one of the 10 hydraulic transparency structures.

PROFIL EN TRAVERS D'UN OUVRAGE DE TRANSPARENCE DU REMBLAI FERROVIAIRE



© SNCF RÉSEAU

6

- Un géotextile assurant la fonction de filtration et rétention des éventuelles particules fines entraînées vers l'arrière de l'ouvrage par des écoulements dans le remblai, disposé à l'interface entre le corps de digue et le complexe drainant ;
- Une couche de matériaux granulaires assurant la fonction drainage en cas d'infiltration d'eau depuis le corps de digue, permettant un rabattement du niveau piézométrique au sein de l'ouvrage et une diminution des sous-pressions affectant le talus côté protégé.

Ce complexe filtrant drainant abrite également un dispositif d'auscultation par fibre optique mis en place sur l'intégralité de la digue pour localiser la présence d'éventuels écoulements internes au remblai pendant les crues.

RECHARGE AVAL (CÔTÉ PROTÉGÉ)

Une fois le complexe filtrant drainant réalisé, celui-ci est recouvert par une recharge aval, en matériaux tout venant pour la digue millénaire et en blocs d'enrochements liaisonnés au béton pour la digue résistante à la surverse (figure 4). La réalisation d'une poutre en béton en

crête de digue permet à la fois d'assurer la coupure étanche de la carapace en enrochements et de matérialiser l'arase déversante, en complément des pistes et des couvertures de terre végétale sur l'ensemble de la digue.

GUIDE EAUX

De part et d'autre du linéaire de digue résistant à la surverse, se trouvent des ouvrages en remblai (appelés "guide eaux"), connectés aux remblais de la digue et de la voie ferrée, cloisonnant ainsi l'espace entre les remblais. Ces ouvrages ont pour objectif de contenir

et guider les eaux surversées vers les ouvrages de transparence du remblai ferroviaire, objet du chapitre suivant.

MISE EN TRANSPARENCE DU REMBLAI FERROVIAIRE

Afin de rendre transparent hydrauliquement le remblai ferroviaire de la SNCF, 10 ouvrages traversants sont construits au travers du remblai ferroviaire. La réalisation de ces ouvrages est portée par le maître d'ouvrage SNCF-Réseau et réalisé par le groupement d'entreprises Gtm Sud/Vinci Construction Terrassement/Esaf. ▷

6- Profil en travers d'un ouvrage de transparence du remblai ferroviaire.

7- Opérations coup de poing - Terrassements nocturnes du remblai ferroviaire existant.

6- Cross section of a railway backfill transparency structure.

7- Lightning operations - Earthworks at night on the existing railway backfill.



© SNCF RÉSEAU

7



8a

© SNCF RÉSEAU

Ces ouvrages sont répartis régulièrement le long du remblai ferroviaire (en face de la portion de digue résistante à la surverse) et nécessitent une conception et mise en œuvre millimétrée. Ils sont en effet construits à proximité immédiate du remblai ferroviaire (figure 5) puis ripés à leur emplacement définitif dans le remblai afin de limiter l'impact sur la circulation SNCF. La circulation des trains doit en effet inévitablement être coupée lors du ripage des ouvrages avant d'être rétablie rapidement après la réalisation, dans un délai

maximal de 55 heures défini plusieurs années à l'avance avec l'exploitant. Les 10 ouvrages de transparence ont la même conception. Ce sont des ouvrages de type double cadre fermés, de 2x10 m d'ouverture.

La seule dimension variable entre les 10 ouvrages est leur hauteur, qui est calée pour répondre à deux contraintes :
 → Le respect du fil d'eau de l'EIR (Espace Inter Remblai, c'est-à-dire la zone située entre la nouvelle digue et le remblai ferroviaire existant), qui est une contrainte majeure

8a & 8b- Ripage d'un ouvrage hydraulique.

8a & 8b- Skidding a hydraulic structure.

du chantier (son respect assure la cohérence de la réalisation du projet avec les études hydrauliques amont qui ont définis les débits à faire passer par les ouvrages) ;

- La hauteur de ballast sur la traverse des ouvrages, d'au minimum 30 cm pour des ouvrages ballastés.
- Les principales caractéristiques des ouvrages sont (moyenne par ouvrage) :
 - 900 m² de béton (radier et traverse de 75 cm d'épaisseur, 3 piédroits de 70 cm d'épaisseur). Béton C35/45, classe d'exposition variable selon les éléments ;
 - 170 t d'armatures passives ;
 - 6 mois de délai de réalisation ;
 - 4 murets d'about préfabriqués posés lors des opérations coup de poing.



8b

© SNCF RÉSEAU

Les profils en travers type des ouvrages répondent à la fonctionnalité ferroviaire : sur chaque rive, garde-corps VM7 et caniveaux à eau et à câbles, système d'étanchéité FPM avec protection BBSG, agréée SNCF (figure 6). Un des enjeux principaux du chantier de réalisation des ouvrages réside dans les 4 Opérations Coup de Poing (OCP) durant lesquelles s'est déroulée la mise en place des ouvrages :

- 2 ouvrages du 14/06/2019 au 16/06/2019, avec une OCP d'une durée de 44h30 ;
- 3 ouvrages du 06/08/2019 au 09/08/2019, avec une OCP d'une durée de 55h ;
- 2 ouvrages du 14/05/2021 au 15/05/2021, avec une OCP d'une durée de 48h ;
- 3 ouvrages du 04/08/2020 au 07/08/2020, avec une OCP d'une durée de 55h.

Les principales tâches pendant le déroulement d'une OCP (exemple pour 2 OA) sont : procédures de fermeture de voie par SNCF Réseau (1h), dépose des voies (1h), déblai dans le remblai ferroviaire et préparation assise (15h) (figure 7), ripage des ouvrages (2h), remblai en bloc technique (16h), repose des voies (7h pour 2 OA), procédures de restitution des voies (2h30).



9
© SYMADREM

9- Digue nouvellement construite et ouvrage de transparence du remblai ferroviaire.

9- Newly built breakwater and railway backfill transparency structure.

Ces enjeux de planning et respect des délais entrent dans le cadre de la démarche de la Démarche RESTTIME mise en place par SNCF Réseau, qui consiste à planifier l'opération, identifier et programmer des marges de délais, identifier et analyser les risques planings potentiels puis identifier et élaborer des scénarii de repli en cas de dérive du planning.

LA MÉTHODE DE RIPAGE PAR KAMAG

La solution technique de ripage sur ce chantier est la méthode par Kamag.

Cette méthode consiste à prendre en charge l'ouvrage sur des Kamag, remorques automotrices spécialisées dans le levage et déplacement de charges lourdes, par l'intermédiaire d'une structure porteuse adaptée à l'ouvrage.

Le poids de l'ouvrage en configuration de ripage est de l'ordre de 1 500 t.

Les études méthodes réalisées par l'entreprise ont permis de réduire ce poids à son minimum de façon à optimiser le nombre de Kamag à mettre en œuvre pour le ripage de l'ouvrage.

La structure en phase de ripage est composée comme suit :

- 4 remorques de part et d'autre de l'ouvrage, soit 8 remorques au total. Ce sont des remorques à 6 essieux ;
- Les remorques sont reliées 2 à 2 et fonctionnent ainsi par paires. Chaque paire de part et d'autre de l'ouvrage est reliée par des poutres métalliques, sur lesquelles sont positionnées les dés d'appuis prenant en charge l'ouvrage par le dessous de la traverse.

L'enjeu est donc de rapprocher le plus possible les paires de Kamag de façon à limiter la portée de la poutre représentant le poids de l'ouvrage. ▷





© SYMADREM



© SYMADREM

Ainsi, le radier de l'ouvrage entre les murs d'about est effectué après ripage, permettant de ne réaliser que le radier sous le cadre.

Après ripage, cette configuration minimale assure une bonne répartition des charges de l'ouvrage et des charges ferroviaires sur le sol en place, sol de capacité portante moyenne, garantie que n'assurait un ripage en configuration portique.

Une fois le montage du matériel de ripage achevé, un essai de ripage est réalisé 3 jours avant la date de l'OCP. L'essai consiste à soulever de 15 à 20 cm puis déplacer l'ouvrage de quelques mètres. L'ouvrage est ainsi reculé en fond de plateforme de pré-fabrication, dégageant la place pour le matériel de terrassement.

Lors de l'OCP, une fois la plateforme de roulage réalisée et contrôlée (portance et altimétrie), le ripage peut débuter. La plateforme étant une structure granulaire venant tout juste d'être réalisée, sont disposées des tôles dans la zone d'arrivée des Kamag, de façon à ne pas omniérer dans le cas où une rotation des roues des Kamag serait à réaliser pour mettre en place l'ouvrage (figure 8). La durée de ripage est de 10 minutes, pour parcourir environ 50 m.

Une fois arrivé à destination, et après contrôles topographiques, l'ouvrage est posé et les travaux de blocs techniques peuvent être réalisés.

LES AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES AVAL DES OA

Les 10 ouvrages de transparence hydrauliques sont associés à des aménagements hydrauliques visant à dissiper l'énergie de l'eau et éviter l'usure et l'érosion en pied de talus. La modélisation hydraulique du projet conduit en

effet à envisager des vitesses d'écoulement pouvant atteindre 2,5 m/s aux abords immédiats et dans les ouvrages. Ces aménagements hydrauliques sont définis et dimensionnés pour prendre en compte la méthode de réalisation et les ouvrages provisoires laissés en place.

Le dispositif complet comprend :

- Une dalle en béton armé située en amont des ouvrages ;
- Un bassin circulaire aval en enrochements liaisonnés (réalisés sur le radier de ripage) et dont les dimensions sont adaptées à l'ouverture de l'ouvrage ;
- La protection du talus, amont et aval, par géomembrane protégée d'un revêtement en gabions (matelas Réno), sur une longueur variable de part et d'autre de l'ouvrage ;

10 & 11 - Déblaiement pour la suppression de l'atterrissement alluvial en lit mineur.

12- Création de la lône de compensation hydraulique et environnementale.

10 & 11 - Clearing work to eliminate alluviation in the low-water channel.

12- Creation of the hydraulic and environmental compensation backwater.

→ la mise en œuvre d'un matelas en gabions, en fond de l'espace inter-remblai sur les abords des ouvrages d'art.

Associé à ces ouvrages majeurs équipés de dispositifs de protections amont et aval (figure 9), un confortement du remblai ferroviaire est réalisé en section courante par des techniques de génie végétal.

ENJEUX HYDRAULIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

COMPENSATION HYDRAULIQUE
L'empiètement formé par la digue en remblai sur le lit majeur du fleuve peut engendrer, pour les crues non débordantes, un exhaussement de la ligne d'eau qu'il convient de compenser. Afin d'annuler cet impact hydraulique, un atterrissement alluvionnaire est sup-



© SYMADREM

primé du lit mineur, par extraction en plusieurs phases pour assurer un tri des matériaux selon leur nature et leur teneur en eau (figures 10 et 11).

La compensation hydraulique est également assurée par la création d'une lône (bras mort d'un fleuve) dans l'espace compris entre le lit mineur et la nouvelle digue (figure 12). Les matériaux extraits de l'atterrissement ($\approx 600\,000\text{ m}^3$) et de la lône ($\approx 700\,000\text{ m}^3$) sont entièrement réutilisés dans le cadre du chantier pour la construction de la digue (matériaux étanches, tout venant, matériaux drainants) limitant ainsi le transport de matériaux en dehors du site.

COMPENSATION ENVIRONNEMENTALE

En plus de satisfaire une compensation hydraulique, la lône répond également à un enjeu environnemental puisqu'elle constitue à elle seule une mesure de compensation majeure des impacts du projet sur l'environnement. Le chantier

a en effet un impact inévitable sur le milieu naturel pour lequel ont été définies des mesures environnementales d'évitement, de réduction et de compensation (séquence ERC).

Cette lône, longue de plus de 3 km, présente une largeur de 70 m et une profondeur variable entre 3 et 4 m. Elle est aménagée et renaturée pour créer un milieu humide propice à sa colonisation par des espèces floristiques et faunistiques caractéristiques de la ripisylve du Rhône.

Une fois les matériaux de la lône extraits pour la construction de la digue, les travaux ont consisté en des créations de mares et modelages en déblai/remblai avec pour objectif d'obtenir une hétérogénéité des conditions écologiques et de diversifier les groupements végétaux, plus ou moins hygrophiles et plus ou moins ouverts. Ont suivi des opérations de végétalisation par diverses espèces locales (figure 12), avec des plantations de

plus de 500 arbres, 15 000 arbustes et 50 000 héliophytes, le but d'obtenir une mosaïque de milieux aquatiques, herbacés, arbustifs et arborés ainsi qu'un corridor boisé de 3 km de long. Des espèces végétales protégées telle que la Nivéole d'été, vouées à être détruites dans le cadre du chantier, ont notam-

ment été transplantées dans la lône. L'entretien et le suivi environnemental qui viendront compléter ces travaux permettront d'analyser les dynamiques de repopulation du milieu par les cortèges d'espèces faunistiques et floristiques, jusqu'à obtention de l'objectif souhaité. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

POUR LA DIGUE :

- 1 300 000 m³ de matériaux remblayés pour le corps de la digue et les couches de forme
- 65 000 m³ de matériaux drainants pour réalisation du complexe filtrant drainant de la digue
- 315 000 t de blocs d'enrochement en confortement des talus, dont l'aval de la digue
- 540 t de palplanches

POUR LES OUVRAGES DE TRANSPARENCE :

- 8 500 m³ de béton (pour 10 ouvrages), ratio armatures/béton de 140 kg/m³
- 47 000 m³ de déblai dans la plateforme ferroviaire en phase d'Opération Coup de Poing

PRINCIPAUX INTERVENANTS

PRINCIPAUX INTERVENANTS POUR LE COMPTE DU SYMADREM

MAÎTRE D'OUVRAGE : Symadrem (Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des digues du delta du Rhône et de la Mer)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis, Safège

ENTREPRISES DE TRAVAUX, LOT CRÉATION DE LA DIGUE : Guintoli, Spie Batignolles Valerian, Buesa, Berthouly, Crozel, Masoni, Sltp

ENTREPRISES DE TRAVAUX, LOT CRÉATION D'UN RIDEAU DE PALPLANCHES : Dfc Battage, Nge Fondations

ENTREPRISES DE TRAVAUX, LOT GÉNIE ÉCOLOGIQUE ET MESURES ENVIRONNEMENTALES : Spie Batignolles Valerian, La Compagnie des Forestiers, Atp Environnement

COORDONNATEUR SPS : Bureau Veritas

CONTRÔLEUR EXTÉRIEUR TOPOGRAPHIQUE : Atgtsm

CONTRÔLEUR EXTÉRIEUR GÉOTECHNIQUE : Société du Canal de Provence

PRINCIPAUX INTERVENANTS POUR LE COMPTE DE SNCF RÉSEAU

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Systra

MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis

ENTREPRISES DE TRAVAUX LOT OUVRAGE D'ART ET VOIE FERRÉE : Gtm Sud / Vinci Construction Terrassement / Esaf

ENTREPRISES DE TRAVAUX LOT TERRASSEMENT GÉNÉRAUX : Guintoli / Nge GC / Nge Fondations / Masoni

ENTREPRISES DE TRAVAUX LOT VÉGÉTALISATION DU REMBLAI FERROVIAIRE : Geko / Vinci Construction Terrassement

COORDONNATEUR SPS : Bureau Veritas

ABSTRACT

FLOOD PROTECTION BREAKWATER ON THE RHONE BETWEEN TARASCON AND ARLES AND DEVELOPMENT OF TRANSPARENCY FOR PARALLEL RAILWAY BACKFILL

MATHILDE LETOURNEUX, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, EGIS - MATHIEU NORMAND, EGIS - GÉRALD FESQUET, EGIS

The works for the creation of a 10-km breakwater on the left bank of the Rhône between Tarascon and Arles to develop hydraulic transparency of the railway backfill began in 2019 for completion in 2022. There are numerous interfaces on this project, because the works involve more than six different consortiums on behalf of Symadrem and SNCF Réseaux. At the peak of the works, the breakwater earthworks deployed more than 150 earthworks machines and 200 personnel every day. The project for creation of the breakwater between Tarascon and Arles on the left bank of the river and consolidation of the right-bank breakwater between Beaucaire and Fourques are the two pillars of the flood management part of the Rhône Plan upstream of Arles. □

DIQUE DE PROTECCIÓN CONTRA LAS CRECIDAS DEL RÓDANO ENTRE TARASCON Y ARLES, Y TRANSPARENCIA HIDRÁULICA DE UN TERRAPLÉN FERROVIARIO PARALELO

MATHILDE LETOURNEUX, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, EGIS - MATHIEU NORMAND, EGIS - GÉRALD FESQUET, EGIS

Las obras de creación de 10 km de dique en la orilla izquierda del Ródano, entre Tarascon y Arles, y de transparencia hidráulica del terraplén ferroviario comenzaron en 2019, para finalizar en 2022. La obra presenta numerosas interacciones ya que más de seis consorcios de empresas distintos intervienen en el proyecto por cuenta de Symadrem y SNCF Réseaux. En el momento de máxima actividad, las obras de movimiento de tierras del dique movilizan más de 150 máquinas y 200 trabajadores. La obra de creación del dique entre Tarascon et Arles en la orilla izquierda del río, junto con el refuerzo del dique de la orilla derecha entre Beaucaire y Fourques, constituyen los pilares del capítulo de inundaciones del Plan del Ródano hasta Arles. □

EXTENSION DU PORT DE PORT-LA-NOUVELLE

AUTEURS : ÉRIC CHEYPE, DIRECTEUR TRAVAUX, DIRECTEUR DU PROJET, BOUYGUES TP -
QUENTIN YVARD, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, RESPONSABLE PRODUCTION, BOUYGUES TP -
BERNARD TRENTÉ, CHEF DE SERVICE, RESPONSABLE MÉTHODES, BOUYGUES TP -
PAUL RENAULT, INGÉNIEUR TRAVAUX, RESPONSABLE USINE, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE

**PORT DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, PORT-LA-NOUVELLE FAIT L'OBJET D'UN PROJET DE DÉVELOPPEMENT AMBI-
TIEUX PORTÉ PAR LA RÉGION OCCITANIE, AYANT POUR OBJECTIF DE DÉVELOPPER SON ATTRACTIVITÉ ET D'EN FAIRE
NOTAMMENT UN HUB DE LA LOGISTIQUE POUR L'ÉOLIEN FLOTTANT EN MÉDITERRANÉE. AU CŒUR DE CE PROJET,
L'AGRANDISSEMENT DU PORT, AVEC LA CRÉATION D'UN NOUVEAU BASSIN PORTUAIRE DE 100 ha CIRCONSCRIT PAR
PLUS DE 3 km DE DIGUES, PERMETTRA D'ACCUEILLIR À TERME DES NAVIRES JUSQU'À 225 m DE LONG AVEC UN
TIRANT D'EAU DE 14,5 m.**



1
© GROUPE ARTELIA - 2016

INTRODUCTION

La première étape des travaux d'agrandissement du port de Port-la-Nouvelle, sous maîtrise d'ouvrage de la Région Occitanie, va permettre la création d'un quai de 250 m et de son terre-plein associé de 7 ha, offrant ainsi les infrastructures lourdes indispensables à

l'accueil des opérations de construction de flotteurs et d'assemblage des premières éoliennes flottantes de Méditerranée (figure 1).

Dans ce cadre, le groupement Bouygues TP/Boskalis a obtenu le marché du Lot 1 pour 200 M€, comprenant (figure 2) :

1- Vue d'ensemble du projet.

1- Overall view of the project.

- La construction d'une nouvelle digue Nord de 2430 m incluant un phasage avec une digue dite "foraine" avant dévoiement d'un sea-line servant à alimenter les cuves pétrolières ;
- Le prolongement de la digue Sud de 600 m ;



5

© BOUYGUES TP

La conception des digues (figure 4) a tenu compte des études d'agitation, intégrant les niveaux de la mer, les houles en phase travaux et fin de projet, les courants, vents, températures, les conditions sismiques, les critères de franchissement et de stabilité hydraulique des digues. Cette conception a été validée par des essais en bassin avant la réalisation.

Les études d'exécution sont réalisées par le bureau d'étude Arcadis.

LES FOURNITURES D'ENROCHEMENTS

Les enrochements nécessitent 2 300 000 t de noyau 1/500 kg et 1 234 000 t d'enrochements de 0,1 à 6 t.

L'importance de ces quantités a nécessité une prospection des capacités des carrières de la région, notamment dans les coupures d'enrochements exigées par la conception des digues.

L'analyse de la productivité des carrières a contraint de multiplier la liste des fournisseurs, tout en prenant en compte la limitation des distances de transports.

Si la distance moyenne de transport par route est de 30 km en raison des fournitures de 3/6 t difficiles à obtenir et provenant principalement d'une carrière dans le Tarn (Plo-Granival), la majeure partie des quantités provient des sites plus proches de Port-la-Nouvelle, notamment de la carrière de Lafarge située à 4 km du chantier et qui produit près de 60 % des besoins. Les blocs de béton issus de la démolition des tétrapodes ont été réutilisés à 100 %. Le démontage de la digue nord existante est recalibré et réutilisé à 75 %. Une réflexion est en cours pour la réutilisation des 25 % restant et correspondant à un 0/100 mm (figure 5).

FABRICATION BLOCS ACCROPODE™ II

L'usine du chantier du port de Calais, construite en 2015 pour fabriquer l'ensemble des Xblocs du chantier, a été transformée et modernisée pour pouvoir fabriquer les blocs Accropode™ II de Port-la-Nouvelle (figure 6).

Outre les modifications qui ont été rendues nécessaires à cause des spécificités des blocs Accropode™ II de Port-la-Nouvelle (notamment la taille des 14 m³), plusieurs autres ont été ajoutées, visant une amélioration de la sécurité et de la qualité :

→ Réhausse de l'ensemble des structures d'un mètre, afin de faciliter les opérations de coffrage/décoffrage ;

→ Mise en place d'un système de vidéo-surveillance, permettant de vérifier l'absence de personnel dans les zones non visibles depuis le poste de bétonnage ;

→ Travail avec un ergonome pour faciliter les postes de coffrage/décoffrage (mise en œuvre d'équilibreur de charge, diminution des nuisances sonores, ...).

5- Plateforme de stockage des enrochements - avril 2022.

6- Vue d'ensemble de l'usine.

7- Poste coffrage - décoffrage.

5- Riprap storage platform - April 2022.

6- General view of the plant.

7- Formwork/ formwork removal station.



6

© BOUYGUES TP



7

© BOUYGUES TP



8

© BOUYGUES TP



9

© BOUYGUES TP

Afin de répondre aux besoins de pose du chantier, l'usine a été équipée de 24 ou 32 plateaux pour les configurations suivantes :

- 24 u pouvant recevoir des moules de 14 m³ et/ou 12 m³ ;
- 32 u pouvant recevoir des moules de 4 m³ et/ou 5 m³ et/ou 9 m³ ;
- 32 u pouvant recevoir des moules de 2 m³.

L'usine, semi automatisée et couverte, est composée :

- D'un poste de bétonnage : 1 opérateur sur pupitre, 1 Secatol, 1 pompe à béton ;
- D'un poste de coffrage/décoffrage : 2 opérateurs coffrent/décoffrent et huilent les moules ;
- D'une ligne de séchage avant décoffrage ;
- D'une ligne de séchage après décoffrage.

En deux postes, elle permet de fabriquer entre 24 et 32 unités par jour. Cette usine est couplée à une centrale à béton Lafarge qui fournit le béton.

La production a démarré en juillet 2020 et la fin est programmée en avril 2023.

La production cumulée est actuellement de 11 000 blocs (figure 7).

8- Échelon de mise en œuvre sous-couche en enrochements et échelon de pose Accropodes™ II.

9- Chargement des blocs artificiels sur quai.

10- Table de largage sur pelle Hitachi EX1900 - jumeau numérique 3D avec logiciel Blockfit.

11- Jumeau numérique 3D avec logiciel Blockfit.

8- Fleet for laying riprap sub-layer and fleet for placing Accropodes™ II.

9- Loading artificial blocks on quay.

10- Drop table on Hitachi EX1900 shovel - 3D digital twin with Blockfit software.

11- 3D digital twin with Blockfit software.

MISE EN PLACE DES ENROCHEMENTS

La mise en œuvre du noyau 1/500 kg est effectuée grâce à des moyens terrestres classiques avec l'utilisation pour le chargement sur stock d'un chargeur Cat 988, de tombereaux 769 ou 772 pour le transport, et de Bull D8 assisté GPS pour la mise en œuvre.

En revanche, le réglage exige des pelles de grandes géométries pour atteindre le niveau -11.00 m avec une cadence de mise en œuvre de 400 à 500 t/h. Le matériel utilisé est une pelle Cat 6015 dont l'équipement triple boom permet d'avoir une portée horizontale de 35 m.

Pour des profondeurs inférieures, la pelle Hitachi 1200 assure aussi ces travaux.

La mise en œuvre par moyen maritime est réalisée avec les chalands fendables de 1 500 t sur la base des mêmes rendements.

Le chargement des enrochements des sous-couches et carapaces est réalisé avec les pelles de 50 t équipées de pinces. Le transport et la mise en œuvre se font avec les mêmes moyens que le 1/500 kg mais à des cadences plus faibles, entre 80 et 100 t/h (figure 8).

Le transport par moyen maritime se fait par rotation de barges préalablement chargées depuis les quais (figure 9).

MISE EN ŒUVRE DES ACCROPODE™ II

Les blocs artificiels sont posés avec des pelles de 150 à 250 t suivant un plan de pose défini par Cli qui est détenteur du brevet des Accropode™ II. La pelle est équipée d'une table de largage (figure 10). Chaque bloc est équipé, avant élingage, d'un Boîtier Instrumenté Bloc (BIB) qui permet à l'opérateur de pelle de poser le bloc dans la digue. Ce boîtier fixé mécaniquement au bloc Accropode™ II permet à l'opérateur de suivre en temps réel le trajet du bloc via le logiciel Posibloc™.

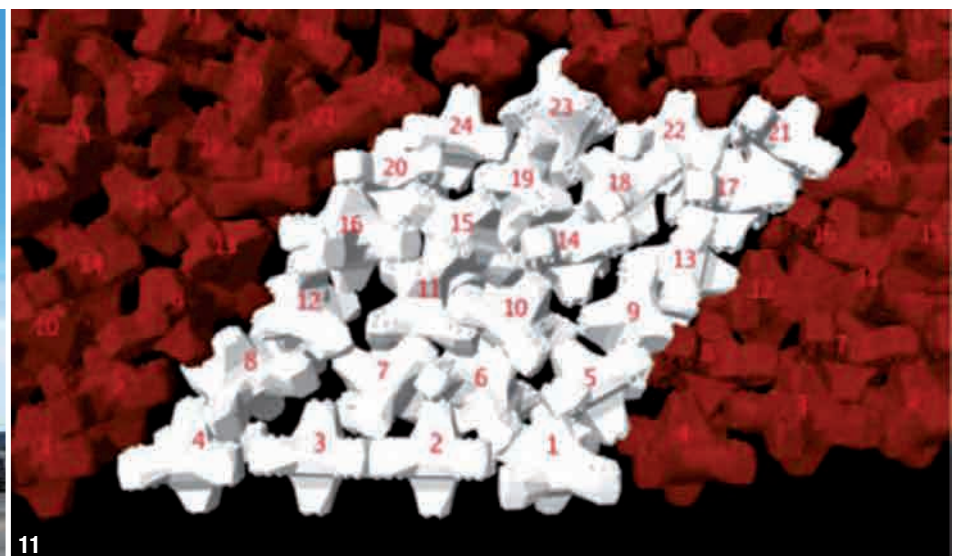
Le début de pose a été difficile, l'utilisation du système Posibloc™ ne permettant pas de voir en temps réel le bloc sous l'eau. L'imbrication étant aléatoire, l'utilisation des plongeurs pour la pose immergée s'est révélée nécessaire et a permis d'atteindre une cadence de pose entre 20 et 25 blocs par jour.

Le levé multifaisceaux et l'importation dans le logiciel Blockfit permet d'avoir un jumeau numérique très précis pour répondre aux fortes exigences de la MOE (figure 11).



10

© BOUYGUES TP



11

© BOUYGUES TP

INNOVATION ENVIRONNEMENTALE

Le chantier est aussi le moyen d'expérimenter des innovations environnementales. L'utilisation de 3 variantes d'Accropode™II pour test comparatif est validée et déjà mise en œuvre sur la digue Nord côté mer (Accropode™II matricés avec picots inversés, Ecopode™ et Accropode™II sablés). Une étude sur le long terme mandatée par la Région Occitanie est en cours pour analyser le développement de la faune et la flore sur ces carapaces (figure 12).

Ce dispositif est complété par la mise en œuvre de 6 écorécifs Seaboost. 18 demi-oursins seront installés sur la digue Sud côté mer ainsi que 16 Accroberm™ sur la digue Nord côté mer (figures 13 et 14).

12- Ecopode™, demi-oursins et écorécifs Seaboost.

13- Ecopode™.

14- Ecorécifs fabriqués par Seaboost - chargement des blocs artificiels sur le quai.

12- Ecopode™, Seaboost half-urchins and ecoreefs.

13- Ecopode™.

14- Ecoreefs manufactured by Seaboost - loading artificial blocks on the quay.



12

© BOUYGUES TP

TABLEAU A : LE MATÉRIEL TERRESTRE

MATÉRIELS	MODÈLES	UTILISATIONS
1 Pelle de 250 t	Pelle Hitachi EX 1900	Pose Accropode™II
2 Pelle de 180 t	Pelle Cat 6015	Pose Enrochements et Accropode™II
1 Pelle de 120 t	Pelle Hitachi EX 1200	Pose Enrochements et Accropode™II
3 Pelle de 90 t	Pelle Liebherr 974 boostée	Pose Enrochements + Chargement barge
	Pelle Liebherr 974	Chargement enrochements
	Pelle Hitachi 870	Chargement barge et chaland
2 Pelle de 50 t	Pelle Liebherr 946	Chargement déchargement enrochements
	Pelle Cat 949	Chargement déchargement enrochements
2 Grue à treillis	Grue Hitachi SCX2800 250T	Manutention Accropode™II
	Grue Sennebogen 150 T	Manutention Accropode™II
1 Bull 40 t	Bull Cat D8	Mise en œuvre 1/500 kg
1 Chargeuse 50 t	Chargeuse Cat 988	Chargement enrochements et TV sur dumper
5 Dumper 35 t	Cat 769	Transport matériaux
5 Dumper 45 t	Cat 772	Transport matériaux
1 Transporteur	Transporteur TMS	Transport Accropode™II
2 Stacker 80 t	Kalmar DRE4527	Manutention Accropode™II



13

© BOUYGUES TP



14

© BOUYGUES TP



15

© BOUYGUES TP



16

© BOUYGUES TP

UN CHANTIER DE MOYENS

Au plus fort de l'activité du chantier, le matériel terrestre (tableau A et figure 15) représente 15000 Hp de puissance moteur. Ce matériel est complété par des engins spécifiquement maritimes : 1 pelle hydraulique sur ponton de 680 t (figure 16), 6 barges de 1500 à 3500 t, 2 chalands fendables de 1300 t, 3 remorqueurs de 1200 CV, ainsi que des navires de servitude (remorqueurs, transport du personnel, navire bathymétrique).

PRINCIPALES DIFFICULTÉS.

Les conditions météo marine (houles, direction du vent, ...) sont le baromètre

de l'avancement de la construction des digues.

Durant l'hiver 2020/2021, trois tempêtes ont frappé la digue foraine depuis le début de sa construction (le 21/10/2020 avec une hauteur de houle Hs de 3,3 m, le 28/11/20 avec un Hs de 3,7 m et le 22/02/2021 avec un Hs de 4,7 m). Trois autres tempêtes ont également eu lieu au cours de l'hiver 2021/2022 (le 31/10/2021 avec un Hs de 2,70 m, le 23/11/2021 avec un Hs de 3,90 m, le 13/03/2022 avec un Hs de 5,40 m). Cela a rendu impossible, au cours de cette période, la protection en phase provisoire, les Accropode™II de protection devant

être montés en "triangle" (figures 17 et 18).

Pour pouvoir faire sortir le premier Accropode™II de l'eau, il est essentiel de libérer une grande longueur de talus non protégé (80 m) et de profiter d'un intervalle météo plus favorable. Seule la période estivale le permet, afin que la sous-couche en enrochements soit stable à la houle hivernale (Hs < 3 m statistiquement).

Les travaux se sont donc limités pendant l'hiver 2021/2022 à l'avancement de la digue Nord terrestre jusqu'au PM 1550. Comme en 2021, le groupement se mobilise depuis le 2 mai 2022 en organisant le travail des équipes

en 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 jusqu'en octobre 2022, afin de profiter au maximum de cette période plus propice aux travaux maritimes. Ce pic de production nécessite la mobilisation pour Bouygues TP de 200 personnes pendant la période estivale.

Les principaux objectifs de l'été 2022 sont la fin de la 1^{re} phase correspondant à la réalisation des digues à la cote +3,00 m pour fin septembre 2022 sur la digue Sud et le raccordement de la digue Nord sur la digue foraine pour mi-juillet 2022 (figures 19 et 20).

La suite des travaux jusqu'à fin de l'été 2023 consistera à réaliser les digues à leurs côtes définitives. ▶



17

© BOUYGUES TP



18

© SEABOOST

15- Pelles Hitachi EX1900 et Caterpillar 6015.

16- Pose blocs artificiels avec pelle sur ponton.

17- Musoir digue foraine avec blocs de 14 m³.

18- Digue foraine en cours de construction - septembre 2021.

15- Hitachi EX1900 and Caterpillar 6015 shovels.

16- Placing artificial blocks with crane on pontoon.

17- Pier head of outer breakwater with 14 m³ blocks.

18- Outer breakwater under construction - September 2021.



19

© BOUYGUES TP

CONCLUSION

L'agrandissement du port de Port-la-Nouvelle s'inscrit dans le cadre du développement des activités de construction des éoliennes flottantes en mer. La première étape en cours consiste en la réalisation d'une nouvelle digue et la modification de deux digues existantes, ainsi que d'un terre-plein. Le projet doit faire face à des contraintes météorologiques et environnementales fortes, entraînant des conséquences en particulier sur le planning de construction, l'approvisionnement et le type Accropode™II utilisé. Ce chantier nécessite une logistique importante, avec un grand nombre d'engins terrestres et maritimes. □



20

© BOUYGUES TP

19- Photo vue d'ensemble avancement mi-mai 2022.
20- Digue foraine 1^{re} phase terminée - novembre 2021.

19- Photo showing overall view of work progress at mid-May 2022.
20- Outer breakwater phase 1 completed - November 2021.

PRINCIPALES QUANTITÉS (Lot 1)

- 784 600 m³ de dragage
- 2 300 000 t de noyau 1/500 kg
- 1 234 000 t d'encrochements de 0,1 à 6 t
- 18 000 blocs artificiels Accropode™II de 2 à 14 m³ ce qui représente 125 000 m³ de béton

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Occitanie
MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Artelia / Gaxieu / Creocan
GROUPEMENT ENTREPRISES (Lot 1 - Dignes) :
Bouygues Travaux Publics (Mandataire) / Bouygues Travaux Publics Régions France / Boskalis

ABSTRACT

PORT EXTENSION FOR PORT-LA-NOUVELLE

ÉRIC CHEYPE, BOUYGUES TP - QUENTIN YVARD, BOUYGUES TP - BERNARD TRENTE, BOUYGUES TP - PAUL RENAULT, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE

Port-la-Nouvelle is an energy transition port for which an ambitious development project is being promoted by the Occitanie Region, designed to increase its attractiveness and in particular to make it into a logistic hub for offshore wind turbines in the Mediterranean. The key part of this project is the enlargement of the port, with the creation of a new 100-ha port basin circumscribed by more than 3 km of breakwaters, which will ultimately make it possible to receive ships up to 225 metres long with a draught of 14.5 metres. □

AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE PORT-LA-NOUVELLE

ÉRIC CHEYPE, BOUYGUES TP - QUENTIN YVARD, BOUYGUES TP - BERNARD TRENTE, BOUYGUES TP - PAUL RENAULT, BOUYGUES TP RÉGIONS FRANCE

Puerto de la transición energética, Port-la-Nouvelle es objeto de un ambicioso proyecto de desarrollo, impulsado por la región de Occitania, con el objetivo de aumentar su atractivo y convertirlo en un nodo logístico de la energía eólica flotante en el Mediterráneo. La clave del proyecto es la ampliación del puerto, con la creación de una nueva dársena portuaria de 100 ha, circunscrita por más de 3 km de diques, que una vez finalizada permitirá acoger buques de hasta 225 m de eslora, con un calado de 14,5 m. □

Engineering a Better Solution

Depuis 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI



Travaux de rétablissement de la
route d'accès RM94
Vallon de la Madone, suite à la
tempête Alex d'octobre 2020
Brèches 1&3

Remblai renforcé terramesh® Vert
Câbles/Clous/Pivots/Grat