

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX. RENFORCEMENT DU QUAI JOANNES-COUVERT AU PORT DU HAVRE. MODULES BIOMIMETIQUES POUR L'AMELIORATION DE LA BIODIVERSITE MARINE. PASSE A POISSONS DU SEUJET A GENEVE. BASE NAVALE DE TOULON. LA PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE DE LA CNR A VALLABREGUES (30). GIROS : DES JUMENTS NUMERIQUES DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LES PORTS FLUVIAUX DE MACON ET DE CHALON-SUR-SAONE

N° 987 JUIN 2023



LA PREMIERE DES
ILES FLOTTANTES DU
PROJET NEVERLAND.
© J.B. PASTOR & FILS /
BOUYGUES TP /
JEAN-PIERRE LOTT



EcoSheetPile™ Plus



La solution acier
durable

XCarb®

De sources recyclées
et renouvelables



Rénovation des écluses de Méricourt sur la Seine © Bouygues Travaux Publics

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 81 % de gaz à effet de serre de moins que les aciers
conventionnels*.



Scanner
pour plus
d'information

ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l. | T +352 5313 3105
palplanches@arcelormittal.com | palplanches.arcelormittal.com

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

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

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction

Sophie Le Renard (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente**TBS GROUP**

Service Abonnement Revue Travaux
20 rue Rouget de Lisle
92130 Issy les Moulineaux
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

LES GRANDS TRAVAUX HYDRAULIQUES D'HIER, D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN



© DR

Les grands travaux hydrauliques ont contribué au développement des grandes civilisations. Les canaux ont alimenté la première civilisation urbaine au Moyen-Orient, lutté contre les inondations du fleuve Jaune en Chine, irrigué les champs de blé des pharaons, tandis que les aqueducs, siphons et ports ont assis le pouvoir de Rome.

Il a fallu une grande puissance politique pour réaliser ces équipements gigantesques. Quelques millénaires plus tard, il faut des hommes d'une rare ténacité pour convaincre de puissants alliés de percer les premiers canaux qui relient mers et océans. Pierre-Paul Riquet dépense sa fortune et vante l'enrichissement du Languedoc et le passage des galères du roi Louis XIV pour éviter Gibraltar et les Barbaresques, afin de réaliser le canal du Midi. Ferdinand de Lesseps conquiert l'amitié et engage la fortune du sultan d'Égypte pour terminer le canal de Suez.

Et maintenant la France peut-elle s'offrir de nouveaux grands équipements ? Après plus de 60 ans d'études, le Canal Seine-Nord Europe ne saurait voir le jour sans la participation de l'Union Européenne. Qu'en sera-t-il du canal Rhin-Rhône ? L'Union Européenne demande de garantir le bon état de l'eau du fleuve et la préservation de ses écosystèmes. Les agences de l'eau prônent les solutions basées sur la nature. La priorité politique n'est pas aux grands travaux.

Or l'environnement n'est pas un système permanent. Il évolue rapidement. Le réchauffement climatique raréfie notre ressource en eau. Les usages de l'eau et de l'énergie sont à repenser. Qui obligera notre pays à atteindre la neutralité carbone en 2050 ? Qui demandera les analyses de cycles de vie, l'étude de l'impact du réchauffement climatique sur la biodiversité et les recherches en biologie pour la protéger ?

Dans l'attente d'une mission plus large, l'irrigation, la protection contre les crues et le développement des communications fluviales et des liaisons maritimes exigent des ouvrages hydrauliques durables. Les canaux de navigation réalisés avant le XX^e siècle sont victimes en moyenne d'une rupture par an ! Le cumul de ruptures lors des crues du Rhône aboutit au Contrat de Plan Interrégional État Régions (CPIER) du Plan Rhône, qui impose une rénovation complète et urgente du système d'endiguement et la réalisation de digues résistantes à la surverse, confiées au Symadrem.

Le cumul de ces ruptures a motivé la modification de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) et le lancement du décret "sécurité des ouvrages hydrauliques" en 2007. D'une part les procédures de contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques sont unifiées quelle que soit leur destination et d'autre part le maître d'ouvrage doit réaliser à intervalles réguliers une étude de dangers (EDD). Confronté à une à deux ruptures par an en France, dont la cause est l'érosion dans 90 % des cas, le Comité Français Barrages et Réservoirs (CFBR) va publier des recommandations pour justifier la tenue à l'érosion des ouvrages hydrauliques.

Après cette mise en sécurité, trois autres défis seront à relever : la neutralité carbone des transports pour limiter le réchauffement climatique, des transports économes et à base d'énergies renouvelables et une meilleure préservation de la biodiversité.

JEAN-JACQUES FRY

CONSULTANT,
MEMBRE DE L'ÉQUIPE MANAGÉRIALE DE LA PLATEFORME EUROPÉENNE DE TECHNOLOGIE ET D'INNOVATION DE L'HYDROÉLECTRICITÉ ET DE LA COMMISSION EXÉCUTIVE DU CFBR



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

© MCG CLIC



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC
PATRICE PASTOR**
J.B.PASTOR & FILS -
SUR TERRE ET SUR MER,
UN DÉVELOPPEMENT ÉCO-RESPONSABLE

28 Océanide -
GÉNIE CÔTIER ET GÉNIE OCÉANIQUE -
OPTIMISER LE PRÉSENT ET DEVANCER
L'AVENIR



38

**RENFORCEMENT
DU QUAI JOANNÈS-COUVERT
AU PORT DU HAVRE**
pour l'accueil de l'éolien offshore



48

**MODULES
BIOMIMÉTIQUES**
pour l'amélioration
de la biodiversité marine



54

**PASSE À POISSONS
DU SEUJET**
Ouvrage de montaison
piscicole



60

**BASE NAVALE
DE TOULON**
Consolidation d'un musoir
dégradé



66

**LA PETITE CENTRALE
HYDRAULIQUE DE LA CNR
À VALLABRÈGUES (30)**
Production d'énergie verte
et protection piscicole



74

GIROS
Des jumeaux numériques
de l'estuaire de la Gironde



80

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
LES PORTS FLUVIAUX
DE MÂCON ET
DE CHALON-SUR-SAÔNE**
Travaux n°212 - juin 1952

LE MARITIME AU SERVICE DE L'ÉOLIEN QUAI JOHANNÈS COUVERT AU HAVRE

Eiffage Génie Civil (mandataire), Etpo, Nge Fondations, Etmf et Sdi, en groupement, ont renforcé, pour Haropa Port - Le Havre, 400 m du quai Johannès Couvert. Cette réalisation sert au développement de la filière de l'éolien en mer. La nouvelle structure supportera 30 t/m². Les travaux ont comporté d'importantes quantités de pieux de grand diamètre, d'inclusion rigides, de béton, dragages et terrassements. (Voir article page 38).

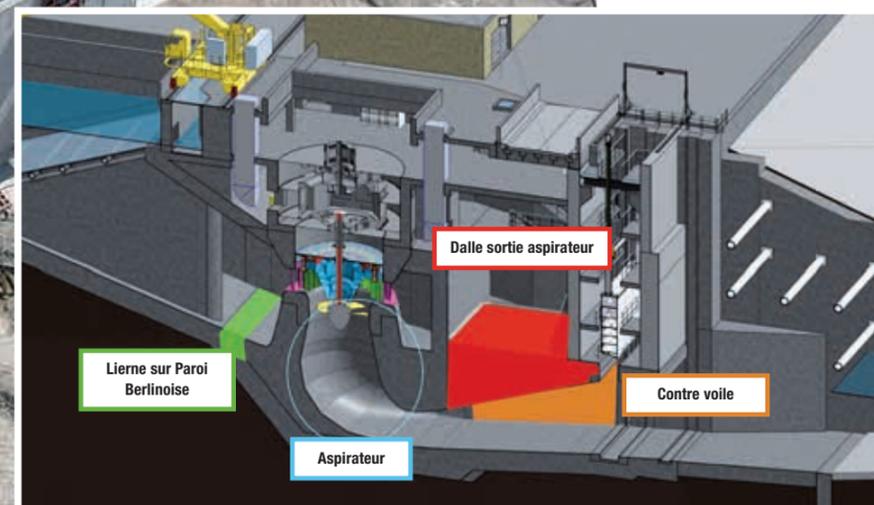


© ETMF & EPO



UNE PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE À VALLABRÈGUES PAS SI PETITE QUE ÇA... ET LES POISSONS SONT CONTENTS

Maïa Sonnier / Spie Batignolles Fondations / Vinci Construction Maritime et Fluvial / Maia Fondations / Société des Carrières Vauclusiennes ont conjugué leurs savoir-faire pour réaliser, pour le compte de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), cette Petite Centrale Hydraulique (PCH) au fil de l'eau, entre Rhône et Gardon, équipée d'une roue Kaplan qui turbinera 84 m³/s pour une production de 60 GWh. (Voir article page 66).



UN PLAN POUR UNE MEILLEURE GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

Emmanuel Macron a annoncé le 30 mars dernier une série de mesures dans le cadre d'un " plan eau " qui prévoit une évolution dans le transfert des compétences aux intercommunalités, plus de sobriété, une lutte accrue contre les fuites et une montée en puissance de la réutilisation des eaux usées.



© BIO-UV GROUP

L'entreprise occitane Bio-Uv déploie une technologie permettant de réutiliser les eaux usées pour arroser les champs.

Le 30 mars dernier, le président de la République a présenté les 53 mesures qui forment le " plan eau ". Sobriété, réutilisation des eaux usées traitées mais aussi la mise en place d'une logique de différenciation pour le transfert de la compétence au niveau intercommunal, sont les principaux axes de ces annonces. En effet, ce plan change la donne en matière de transfert de compétences, eau potable et d'assainissement, en faveur des communautés de communes qui devait déployer jusqu'en 2026. En effet, Emma-

manuel Macron a annoncé que la logique de mutualisation des moyens perdurerait mais à travers des structures englobant moins de collectivités, telles que les agences de l'eau. Pour arriver à cet objectif, une loi devra être votée. Une mission parlementaire est en cours et des auditions pour une " gestion durable de l'eau " ont eu lieu les 16 et 17 mai au Sénat. **→ Sobriété, compteurs intelligents et réutilisation des eaux usées**

En matière de sobriété, le plan vise aussi à réduire de 10% les prélèvements d'eau

d'ici à 2030, en impliquant toutes les filières économiques : industrie (aides pour les 50 plus gros consommateurs), agriculture (30 M€ supplémentaires), bâtiment... Des aides sont prévues pour les particuliers, pour financer récupérateurs d'eau de pluie. Pour réduire les fuites, l'État va concentrer son action sur les 170 communes rurales qui constituent des " points noirs ", où les fuites sont supérieures ou égales à 50%, soit un litre sur deux gâché. Sur les 475 M€ d'aides supplémentaires des agences de

l'eau prévues par le plan, 180 M€ seront débloquées, dès 2024, pour endiguer ces fuites dans ces territoires ruraux. Les autres collectivités devront s'appuyer sur une nouvelle génération d'Aquaprêts à taux fixe pour une durée entre 25 à 40 ans de la Caisse des dépôts pour réduire leurs fuites sur les réseaux d'eau potable. Autre annonce, la volonté de généraliser la tarification progressive de l'eau et de développer les compteurs intelligents. Le volume des eaux usées en sortie de traitement doit passer de 1% aujourd'hui à 10% à l'échéance 2030, cela représente 8,4 milliards de m³. La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) devra concerner 1 000 projets contre 80 en 2023.

→ Gestion responsable de l'eau

Syntec-Ingénierie, qui représente entre autres les entreprises d'ingénierie de l'eau, a salué « des mesures ambitieuses et nécessaires au regard de l'urgence climatique. » Mais l'organisation professionnelle appelle en complément à une « modification des pratiques culturales et phytosanitaires associées, à la désimperméabilisation des surfaces en ville, et à la fin du " tout à la rivière ", indispensables à la mise en œuvre des changements profonds attendus. »

Pour Olivier Lamarie, à la tête d'Xylem, entreprise qui développe des technologies et services numériques de l'eau, « le plan ouvre la voie à de nouveaux usages, notamment la REUT, qui constitue une vraie solution d'avenir. En tant qu'acteur industriel, nous sommes pleinement mobilisés pour soutenir les collectivités et les acteurs de la filière, avec nos solutions pour une gestion plus responsable et pérenne de l'eau. » ■

QUELLE SERA LA RUE DE DEMAIN ?

Comment aménager autrement les rues des grandes villes en redonnant une place à chacun, en réduisant le monopole de la voiture et en végétalisant les espaces publics ? Telle est la question à laquelle ont tenté de répondre les urbanistes de Franck Boutté consultants, de l'agence Richez associés, de Léonard la plateforme de prospective du groupe Vinci, dans le cadre d'un appel à projets lancé par l'Ademe, en 2020. Ce travail a donné lieu à la publication d'un guide

methodologique " pour la transformation des rues ordinaires " et l'avènement " d'une rue commune ". Une consultation citoyenne a été aussi lancée sur le sujet, 25 000 réponses ont ainsi été obtenues. « La rue est un espace commun et ordinaire, un maillage essentiel des villes qu'il faut adapter aux conditions climatiques de 2050. » considère Franck Boutté. Trois leviers sont ainsi préconisés : opérer la transition vers les mobilités décarbonées, libérer le sol pour répondre aux enjeux

écologiques, et transformer les usages de la rue pour améliorer le bien-être en ville. La rue commune étudiée est un axe secondaire à proximité de transports en commun. Les urbanistes prônent la suppression des trottoirs, des stationnements de voiture, une vitesse de circulation à 5 ou 10 kilomètres heures, des surfaces perméables pour réactiver le cycle de l'eau. Cela pourrait représenter 24% des voies à Bordeaux, 18% à Lille et 29% à Lyon. ■



© SOPHIE LE RENARD

La rue commune de demain devra être végétalisée, en support de la biodiversité.

Toujours assez d'espace à l'arrière

Les pelles compactes sur pneus

Les pelles hydrauliques de notre série Compact sont vos partenaires sur les chantiers où l'espace est limité. Flexibles et dynamiques, elles permettent un travail productif et intuitif grâce à des technologies innovantes. Même quand il n'y a pas beaucoup de place. www.liebherr.com

LIEBHERR

Pelles sur pneus



Liebherr France SAS - 2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287 - 48005 Colmar Cedex - Phone +33 3 89 21 30 50
info.fr@liebherr.com - www.facebook.com/LiebherrConstruction - www.liebherr.com



UN PARCOURS POUR FORMER PLUS D'INGÉNIEURS

Selon une étude réalisée* pour Syntec-Ingénierie, il manque 20 000 ingénieurs chaque année, pour l'économie française. La fédération professionnelle lance un dispositif de formation et d'insertion, Parcours ingé, afin d'insérer dans le milieu de l'entreprise les futurs ingénieurs, dès leur première année de formation en alternance. Avec des enseignements sur le terrain et une prise en charge du coût de la formation, le programme entend attirer des publics jusque-là éloignés des métiers de l'ingénierie, à savoir des profils féminins ou issus des milieux populaires. Parcours Ingé est une formation en 3 ans, 100 % en alternance et avec un double tutorat école-entreprises. Les étudiants qui le souhaitent pourront poursuivre la formation jusqu'en Master, Bac+5.

*Étude réalisée par le cabinet Kyu Lab.

UN GUIDE DÉDIÉ AUX PÔLES D'ÉCHANGES MULTIMODAUX

Organisme certificateur des bâtiments tertiaires (non résidentiels), des infrastructures et des aménagements de territoire, Certivea et Efficacity Institut français de R&D dédié à la transition des villes, publie un guide pratique sur les Pôles d'échanges multimodaux (PEM). L'interconnexion des différents modes de mobilité (train, tram, bus, vélo, piéton, covoiturage) sont aujourd'hui des maillons importants des politiques d'aménagement des territoires des collectivités locales.

Ce guide propose une feuille de route pour mesurer et suivre la performance d'un projet de PEM, de sa conception jusqu'à sa mise en œuvre. C'est un outil pour accélérer le développement des projets d'infrastructures durables.

QUEL EST L'IMPACT DE LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION DANS LA GESTION DES DÉCHETS POUR LES TRAVAUX PUBLICS ?

Inspirée du principe du "pollueur-payeur", une nouvelle réglementation intitulée Responsabilité élargie du producteur (REP), s'applique depuis le 1^{er} mai 2023. Celle-ci doit permettre de favoriser l'éco-conception, d'allonger la durée d'usage des matériaux et de mieux gérer le recyclage. 46 millions de tonnes de déchets sont produits chaque année par le secteur du BTP et selon le Ministère de la transition écologique près de 40 % d'entre eux ne sont actuellement pas recyclés.

Pour un chantier de plus de 50 m³, les entreprises du secteur devront s'acquitter d'une écocontribution, une contrepartie financière perçue par quatre organismes (Valobat, Écominero, Écomaison, Valdella) agréés et chargés de gérer le traitement des déchets. Les sociétés concernées

devront alors appliquer cette quote-part à leurs clients. Ces nouvelles dispositions stipulent qu'une distance maximale de 20 km entre le chantier et le point de dépôt des déchets devra être respectée. Comme ce maillage est loin d'exister, il devra se développer sur les 4 prochaines années.

→ Destination des matériaux de construction achetés

Le REP concerne les déchets inertes (ardoise, béton, chaux, granulats, pierre, terre) et les non-inertes (bois, enduits, laine de verre, laine de roche, plastiques dont les isolants, peintures, plâtre, verre). En détail, la nouvelle réglementation s'applique aux matériaux de gros œuvre, aux façades, couvertures et étanchéités, bois, charpentes et panneaux, cloisons, isolants, menuiseries, revêtements de sol,

aux murs et plafonds, équipements, infrastructures électroniques et de communication, colles, peintures, vernis, résines, aux produits de préparation et de mise en œuvre, réseaux (alimentation, évacuation, assainissement, chauffage, etc.) et enfin aux aménagements extérieurs. En théorie ce nouveau dispositif, concerne donc en priorité les entreprises du bâtiment mais impacte aussi celles des travaux publics. Seule compte la destination des matériaux de construction achetés. Si ceux-ci sont mis en œuvre dans des travaux de bâtiment, l'entreprise de TP devra payer des écocontributions. Dans le cas d'un chantier uniquement de TP, il n'y a pas de participation financière. Les sociétés de TP devront alors le déclarer en remplissant "une attestation annuelle de non-assujettissement à la REP". ■

BASSE IMPORTANTE DU TRANSPORT DES MATÉRIAUX DU BTP SUR LE BASSIN DE LA SEINE



19,56 millions de tonnes de marchandises ont été transportées sur le bassin de la Seine et de la Loire aval, en 2022.

Avec 1 400 km de voies navigables dont 540 km de voies à grand gabarit (la Seine, l'Oise et la Marne aval) pour le passage de grosses unités fluviales, jusqu'à 5 000 tonnes transportées, le bassin de la Seine et de la Loire aval, est devenu un acteur important dans le fret des marchandises. Voies navigables de France (VNF) annonce 19,56 millions de

tonnes de marchandises transportées. Cela représente l'équivalent de 800 000 camions évités sur les routes et une économie de 239 000 tonnes de CO₂. Première filière utilisatrice de ce bassin, le BTP enregistre, de ce point de vue une baisse de 20 % de ses volumes affrétés par le bassin. L'importante diminution du transport de déblais par voie fluviale est

due à la fin de certains grands chantiers franciliens, comme ceux des Lignes 15 Sud et 16 du Grand Paris Express, ou encore les opérations de terrassements du Village des athlètes à l'Île-Saint-Denis. L'activité devrait reprendre en 2023, avec d'autres opérations comme la construction du tunnel du Siaap (Service public de l'assainissement), à Vigneux. ■

0

RISQUE ROUTIER



ON AVANCE !



Dans le BTP, on progresse toujours en prévention. Entretien des véhicules, chargement du matériel, comportements individuels... adoptons les meilleures pratiques ! Découvrez les solutions simples à mettre en place, les formations dédiées à vos métiers et tous les outils qui vous feront avancer.

zerorisqueroutierBTP.fr



LE PROJET NATIONAL DOLMEN COMMUNIQUE SUR SES AVANCÉES

Rassemblant 61 acteurs du génie civil (maîtres d'ouvrages, ingénieries, entreprises de travaux, industriels, organismes de recherche), le Projet national Dolmen, lancé en 2021, publie une newsletter, sur l'avancée de ses travaux, dont le premier numéro est paru en mars 2023. L'objectif de cette recherche collaborative est de progresser dans la compréhension du comportement des ouvrages d'art en maçonnerie. Pour améliorer l'évaluation et la maintenance du patrimoine existant, différents groupes de travail ont mené des réflexions sur ce sujet. Les gestionnaires d'ouvrages en maçonnerie ont été sollicités. Cela a permis de repérer des ouvrages qui pourraient servir d'application à la recherche collaborative. Développer un outil de calcul de structures maçonnées adapté aux besoins de la profession est l'un des objectifs du Projet national.

L'ENTREPRISE NEXTROAD, PUBLIE UN LIVRE BLANC FACE À LA DÉGRADATION DES ROUTES ET PONTS EN FRANCE

Entreprise d'ingénierie spécialisée dans les infrastructures, NextRoad a souhaité marquer l'anniversaire du rapport sévère de la Cour des comptes sur l'état des routes et ponts. Elle publie un livre blanc qui met l'accent sur les solutions pour enrayer cette situation. Il faut passer à une gestion stratégique de ce patrimoine, pour évoluer d'un entretien préventif à curatif, "mobilisant davantage de matière grise". Ce document donne une liste de bonnes pratiques comme contrôler les travaux pour augmenter leur durée de vie, utiliser des outils de gestion web spécialisés, avoir une conception environnementale des chaussées, pour laisser s'infiltrer l'eau, par exemple.

LE TAXIRAIL, LÉGER AUTONOME ET À HYDROGÈNE SERA-T-IL LA SOLUTION POUR LES PETITES LIGNES FERROVIAIRES ?



Ce train à hydrogène en conduite autonome est actuellement en phase de test.

Le train léger autonome à hydrogène sera-t-il une solution de mobilité, pour les années à venir, dans les territoires ruraux et périurbains ? C'est le pari de Taxirail SAS, une start-up industrielle dont la mission est « de révolutionner le transport ferroviaire en offrant des solutions de mobilité durables, efficaces et respectueuses de l'environnement. » Pour l'heure, ce train d'un genre inédit est en phase expérimentale. Le démonstrateur sera mis sur les rails à la fin de l'année 2023, sur une voie d'essai dédiée, à Port-Jérôme-Sur-Seine (76). Le coût de ce projet est de 25 M€ et l'aide de l'Agence de la transition écologique,

l'Ademe, sous forme de co-financement, est de 12 M€.

Le Taxirail est le fruit d'une collaboration entre plusieurs acteurs de l'industrie du transport, des énergies renouvelables et des technologies autonomes. L'innovation consiste à combiner les avantages du train léger, de l'hydrogène et de la conduite autonome, sans conducteur, qui doit permettre un service 7 jours sur 7 et 24 h sur 24.

→ À partir de 2026

Le mode de propulsion à hydrogène rend ce moyen de transport propre et durable. En effet, les piles à combustible alimentées par de l'hydrogène seront

utilisées pour générer l'électricité pour faire avancer ces trains légers, sans émission de gaz à effet de serre. La start-up prévoit les premiers déploiements en région de ces trains nouvelle génération à partir de 2026. Ces mini-trains pourront rouler sur les "petites lignes" ferroviaires aujourd'hui largement délaissées et structurellement déficitaires. Un réseau de stations stratégiquement situées permettra de faciliter les déplacements vers les centres urbains. Les clients disposeront d'une application leur permettant d'acheter leur billet et de trouver toutes les informations quant à leur trajet. ■

LA GAZÉFICATION HYDROTHERMALE, UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE TESTÉE POUR TRAITER LES DÉCHETS ORGANIQUES

La gazéification hydrothermale (GH) pourrait être une nouvelle filière de production de gaz dit vert. Cette nouvelle technologie est en phase de test avec les projets pilotes portés par la groupe GRT Gaz et prévus en 2024 et 2025. Une installation industrielle de production de gaz issue de cette innovation devrait voir le jour en 2026. Les Pays-Bas, une usine de traitement existe depuis 2021 sont précurseurs. La GH est un procédé physico-chimique qui permet de transformer différents types de déchets et résidus de

biomasse humides ou liquides en gaz renouvelable riche en méthane, en les soumettant à une haute pression et à une forte température. Avec cette solution, on peut récupérer les sels minéraux des intrants pour les valoriser sous forme d'engrais et recycler l'eau qui compose ce type de déchets à plus de 80%. Elle permet aussi de convertir une station de traitement des eaux usées en une usine d'économie circulaire. Même si ce procédé n'est pour l'heure qu'en phase de test, les entreprises du secteur s'intéres-

sent à cette énergie décarbonée. Veolia et Suez pensent équiper des stations d'épuration de GH. Selon la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR), « plusieurs études confirment le potentiel de gaz renouvelables dont la production repose sur différentes technologies et intrants. L'obligation du tri des biodéchets par les collectivités dès le 1^{er} janvier 2024 représente à ce titre un potentiel de 5 TWh/an. » La gazéification hydrothermale est une des solutions. ■

FORMATION **INGENIERIE** **LOGICIELS**

L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée en France comme à l'international

Paris, Lyon et Bordeaux | terrasol@setec.com | www.terrasol.com | terrasol (groupe setec)

EGIS, UNE CROISSANCE IMPORTANTE EN 2022 ET DE NOUVELLES ACQUISITIONS EN 2023

Le groupe français Egis a publié le bilan de son activité en 2022, qui est une année placée sous le signe de la croissance. Toutes les activités du groupe ont permis de générer un chiffre d'affaires de 1,48 Mds €, soit une hausse de 27 % par rapport à 2021. En particulier, les prises de commandes en ingénierie ont enregistré une hausse de 35 %, atteignant le niveau record de 1,5 Mds €. Les contrats avec la Société du Grand Paris, en France mais aussi en Arabie saoudite, sur le site de Al Ula et à Neom, mégapole futuriste en construction, expliquent en partie ces gains importants. À la fin de l'année, les perspectives d'activités représentaient 1,8 Mds €, soit 18 mois de chiffre d'affaires pour l'ingénierie. « La prise de commandes record en 2022 démontre notre capacité à gagner de très grands projets dans des domaines variés, et l'engagement technique sans faille de nos équipes, qui nourrit la confiance de nos clients. Nous allons poursuivre cette stratégie de crois-

sance en 2023 pour concrétiser notre trajectoire exceptionnelle réalisée au cours des deux dernières années, avec toujours pour objectif d'intégrer le top 10 des ingénieristes mondiaux, » a déclaré Laurent Germain, directeur général d'Egis.

→ 2 acquisitions début 2023

8 nouvelles acquisitions ont été conclues en 2022. Et pour cette année, le groupe a annoncé l'acquisition de l'entreprise irlandaise de génie civil JB Barry & Partners. Implanté en Irlande depuis 20 ans, Egis y emploie plus de 500 personnes et a réalisé des projets importants d'infras-

tructures (exploitation de 470 km d'autoroute, tunnel du port de Dublin et le Jack Lynch Tunnel). Les deux entreprises ont déjà travaillé sur des projets communs, dans le secteur du ferroviaire. Autre actualité pour Egis, l'acquisition du bureau d'étude ODZ Consultants, spécialisé en étude des risques industriels et en ingénierie sécurité incendie. En effet, le groupe a souhaité renforcer son offre dans ces domaines étant de plus en plus sollicité par ses clients sur les questions de risques des activités industrielles, d'impact environnemental et de sûreté des installations contre le feu. ■



FERRO INGÉNIERIE RACHÈTE THOR INGÉNIERIE

La société Ferro Ingénierie vient d'acquérir Thor Ingénierie. Cette opération a pour but créer une offre complémentaire et de mettre en commun leurs expertises dans le secteur du bâtiment et des réseaux. En effet, Ferro Ingénierie est spécialisée en énergies et fluides et dans l'ingénierie des réseaux et infrastructures dans le secteur du bâtiment et des travaux publics. L'entreprise, basée en Seine-et-Marne, intervient dans plusieurs secteurs : génie climatique, génie électrique, la plomberie sanitaire, les énergies renouvelables, la protection incendie, les enfouissements de réseaux, les aménagements urbains. Thor Ingénierie, basée dans le Val-de-Marne, est expert en matière d'ingénierie de projet, conception, réalisation et maintenance des installations fluides.



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs. Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 988 "Ouvrages d'art "
- TRAVAUX n° 989 "Spécial Ligne à Grande Vitesse HS2 "



Bertrand COSSON

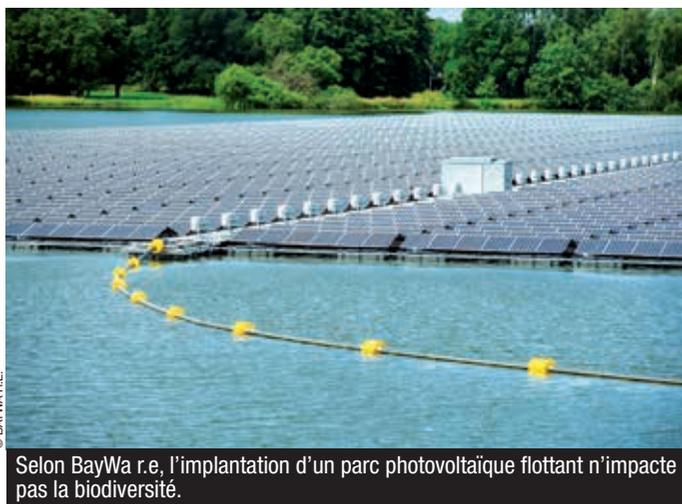
Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

SPÉCIALISTE DES PRODUITS BÉTON, ALKERN ACQUIERT ADG BÉTON

Spécialisée dans les produits en béton pour les travaux publics, l'entreprise Alkern a annoncé l'acquisition du groupe ADG Béton dont la gamme de produits s'étend aux solutions destinées au bâtiment aussi bien qu'aux travaux publics. Cette opération doit permettre à Alkern de compléter son offre dans les domaines de la gestion des eaux en assainissement non-collectif et de stockage d'eau pluviale. « Les équipes d'ADG Béton vont nous permettre de renforcer notre pôle travaux publics, et d'étendre notre offre de solutions de gestion de l'eau, sujet stratégique dont les besoins devraient augmenter chaque année. Cette acquisition renforce aussi notre présence récente dans la région Grand Est, » explique Xavier Janin, Président d'Alkern.

DEUX PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES FLOTTANTS SUR D'ANCIENNES CARRIÈRES, EN FRANCE



© BAYWA R.E.

Selon BayWa r.e., l'implantation d'un parc photovoltaïque flottant n'impacte pas la biodiversité.

Les anciennes carrières et leur pièce d'eau à proximité sont des lieux propices à l'implantation de parcs photovoltaïques flottants. L'entreprise allemande BayWa r.e. a déjà développé ce type d'infrastructures en Allemagne et aux Pays-Bas (voir revue

Travaux 980). Deux projets sont en cours actuellement sur le territoire national, un à Dordives (45) et un autre à Dompierre-sur-Besbre (03). Les demandes d'autorisation vont être déposées respectivement cet été et à la fin 2023. Dans le Loiret, sur un des plans

d'eau artificiels de la carrière de granulats de Nançay, anciennement exploitée par le groupe Lafarge Holcim, BayWa r.e. prévoit la pose de 34000 panneaux photovoltaïques flottants, qui pourraient recouvrir une superficie d'un peu plus de 7 hectares. La production annuelle du parc serait d'environ 15 GWh, soit l'équivalent de la consommation électrique de 3200 foyers. Le même type d'installation est prévu à l'échéance 2026, à Dompierre-sur-Besbre, sur un plan d'eau artificiel de 10 hectares, issu d'une sablière à l'arrêt depuis 2010. Les panneaux solaires mis en place à plus de 20 mètres des berges, n'occuperont qu'une partie limitée, de 40 à 60%, de la surface de ces étangs artificiels. Pour l'entreprise BayWa r.e., « le photovoltaïque flottant a démontré sa sûreté et l'absence d'impact sur la biodiversité. La solution solaire flottante présente l'avantage de ne pas modifier les écoulements de crue et d'avoir un impact nul sur l'emprise de la crue et les hauteurs d'eau. » ■

EIFFAGE REMPORTE LE MARCHÉ DE RECONSTRUCTION DU TECHNICENTRE DE MAINTENANCE DU RER D ET DE LA LIGNE R DU TRANSILIEN



Futur technicentre de maintenance du RER D et de la Ligne R du transilien à Villeneuve-Saint-Georges.

Anticipant l'augmentation du trafic des prochaines décennies sur les Lignes D du RER et R du Transilien, Île-de-France Mobilités a souhaité adapter ses installations de maintenance situées à Villeneuve-Saint-Georges (94). Ce projet a pour but de répondre aux caractéristiques techniques des trains

nouvelle génération mais aussi d'améliorer la performance énergétique des bâtiments et d'optimiser les temps d'intervention. L'acteur francilien finance à 100 % ces nouvelles infrastructures, pour un montant global de 452 M€. Eiffage, au travers de ses filiales Eiffage Génie Civil

(mandataire), Eiffage Rail, Eiffage Énergie Systèmes et Eiffage Concessions, a remporté en groupement avec le cabinet d'architectes LA/BA, le marché global de cette opération.

→ Sans interruption d'exploitation

La reconstruction du technicentre de maintenance Transilien du RER D et de la Ligne R "Villeneuve Demain", sur une surface de plancher de 35 000 m², doit se faire sans interruption d'exploitation. Ce marché comprend la conception, la réalisation et la maintenance pendant 6 ans des installations bâtementaires et ferroviaires (avec trois tranches optionnelles de 3 ans chacune). Il comprend l'utilisation de matériaux biosourcés, de béton bas carbone ainsi qu'une approche digitale innovante (conception BIM, réseau 5G, ...). Après la phase de conception prévue jusqu'en octobre 2023, les travaux débuteront en janvier 2024 pour une première livraison en décembre 2026, pour une fin de chantier en décembre 2027. ■

NGE CLÔT LE CHANTIER DE LA RN122, DANS LE CANTAL

Le chantier de contournement de Sansac (15) sur la RN122, réalisé par NGE comportait deux axes distincts. Tout d'abord une section neuve de 7 km a été créée en pleine nature, dans un environnement forestier, au cœur de la forêt de Branviel. Ce projet a nécessité d'importants travaux de terrassement mobilisant des moyens en matériel et en personnel considérables pour assurer des rendements élevés.

La proximité avec la voie ferrée a conduit à la réalisation d'un fonçage sous les rails et de dispositifs de sécurité spécifiques, par mur en béton sur lequel est posé une barrière en métal grillagée pour éviter les déversements des poids lourds sur la voie ferrée. Dans la forêt de Branviel, des mesures de protection de l'environnement ont abouti à la création d'un passage à faune de 3 mètres de haut et 7 mètres de large sous la nouvelle chaussée.

Des ouvrages petites faunes et des écrans à chauve-souris ont aussi été

réalisés. Une gestion de l'eau pour réguler les débits en cas de fortes pluies et bloquer les pollutions accidentelles faisait aussi partie de ce projet. L'autre axe de ce chantier a consisté à requalifier 3 km en zone urbaine, avec des travaux sous circulation, très phasés et réalisés de nuit afin de limiter la gêne

aux usagers. La chaussée a été agrandie en vue de mettre aux normes les accotements et une piste multifonction a été créée. Pour cette opération, NGE a mobilisé sa plus grande usine mobile d'enrobage pour produire près de 60 000 tonnes d'enrobés. Le chantier a été livré avec 2 mois d'avance. ■



Le chantier de contournement de Sansac (15) sur la RN122 a été livré avec 2 mois d'avance.

LES ENGAGEMENTS SOCIÉTAUX ET ÉCOLOGIQUES D'URBAVAR

Urbavar est une entreprise de travaux publics, spécialisée dans les aménagements extérieurs, la pose et taille de pierre, et les travaux liés à l'environnement. Installée dans le Var, elle a un engagement sociétal fort, tant en matière de transition écologique que pour le bien-être de ses salariés. En effet, les dirigeants d'Urbavar ont créé un potager géant de 1,2 hectares labélisé "agriculture biologique" pour leurs salariés. Entretenu par un ancien chef de chantier de l'entreprise reconverti en maraîcher, ce jardin produit des paniers de fruits et légumes chaque semaine. « De manière concrète, le jardin Urbavar est un lieu de vie pour nos salariés et clients qui se retrouvent en famille autour de repas et récoltent des légumes. Une initiative peu commune dans les travaux publics, » explique Gaël Vial fondateur d'Urbavar en 2008 et à l'initiative du projet. Un potager géant est aussi devenu showroom du savoir-faire de l'entreprise dans le travail de la pierre et des aménagements publics et privés. De plus, il se transforme le samedi en ateliers pour enfants autour des récoltes. L'entreprise se veut aussi pépinière et accompagne des associations et start-ups engagées dans la transition écologique, œuvrant pour une nourriture saine, avec cette volonté de réduire la facture carbone au profit du climat.



Entreprise implantée dans le Var, Urbavar réalise des aménagements d'espaces publics.

NOUVELLES POMPES SFA DESTINÉES AU RELEVAGE DES EAUX

L'entreprise SFA développe son offre de pompes destinées au relevage des eaux (claires, pluviales, chargées, usées voire agressives et salines) jusqu'à 40°C. De conception et de fabrication made in France, ces nouvelles pompes submersibles en fonte sont destinées au relevage des eaux usées et pluviales jusqu'à une hauteur de 16 mètres. Elles s'installent aisément dans un regard ou dans une fosse grâce à des dimensions compactes (300 x 460 x 270 mm). Déclinée dans une douzaine de références, en version transportable ou stationnaire, cette installation affiche un débit maximal allant jusqu'à 29 m³/h.

→ **Fabrication sur mesure**
L'industriel annonce également de nouvelles stations de relevage à enterrer sur mesure. Ces innovations SFA sont fabriquées en polyester armé de fibre de verre, un matériau résistant, impu-
trésicible, non-corrodable et non-poreux. Entièrement modulables, ces nouvelles technologies s'installent en zone inondable ou non, sous espaces verts ou encore sous la chaussée, sous dalle ou encore sous voirie. Fabriquées sur mesure en polyester armé de fibre de verre, matériau résistant et léger, elles se déclinent en trois versions : relèvement simple sans robinetterie, avec robinetterie ou relèvement avec la robinetterie dans le regard externe.



Les nouvelles stations de relevage à enterrer sur mesure sont conçues et fabriquées en France.

TECHTIME, UN OUTIL POUR UNE GESTION OPTIMISÉE DES CHANTIERS

Sur les chantiers de BTP, il est impératif que les différentes parties prenantes s'organisent sur la préparation, la production et le suivi des tâches. Aussi l'entreprise Techttime, spécialisée dans les logiciels de suivi de chantier, a développé une application qui accompagne les artisans, au fil des projets. En effet, charpentiers, peintres, électriciens, décorateurs, ou encore paysagistes..., sont confrontés à des difficultés pour planifier, maintenir une bonne coordination entre les différents intervenants et suivre efficacement l'avancement des travaux, ce qui peut entraîner une mauvaise gestion des délais et des coûts. L'application mobile Techttime s'adresse aux artisans sur le terrain, mais aussi aux managers d'équipe. Pour ceux-ci, elle permet en

temps réel de planifier, de faire évoluer les plannings, mais également de localiser les activités et les artisans, en mobilisant les ressources nécessaires pour les tâches prévues, tout en anticipant les indisponibilités. En centralisant et en transmettant les informations importantes sur les activités réalisées cet outil permet une meilleure communication entre les équipes. Il permet aussi de lier la flotte de véhicules et les matériels utilisés par chaque technicien. Des échanges via des photos et des messages instantanés favorisent les feedbacks en temps réel, entre tous les utilisateurs. Techttime a interrogé ses clients utilisateurs et en a déduit que cette application permet de gagner jusqu'à 1 h de travail par jour et par technicien. ■



Application mobile est un outil de planification, de coordination et de suivi des chantiers de BTP.

UNE TECHNOLOGIE DE LACROIX POUR UNE MEILLEURE FLUIDITÉ DES LIGNES DE BUS



L'innovation expérimentée par Lacroix permet aux bus n°393, dans le Val-de-Marne, un gain de temps de 25 %.

Le groupe Lacroix a expérimenté, le dispositif PrioV2X, un système de priorité aux intersections qui s'inscrit dans un contexte de développement des mobilités connectées et douce. Cette innovation a été déployée, pour la RATP, sur la ligne de bus n°393 dans le département du Val-de-Marne (Carrefour de la Résistance - Sucy - Bonneuil RER). Concrètement, une unité embarquée dans un bus communique en temps réel sa position à une unité de bord de route (UBR), installée au niveau d'un carrefour à feux.

Le module de communication Lacroix est posé au pied du feu tricolore. L'UBR ajuste en permanence les délais d'approche au contrôleur de feu en fonction de la localisation du bus.

→ Un dispositif allégé et flexible

Cette technologie est cybersécurisée, évolutive et elle s'adapte aux technologies déjà présentes sur le réseau sans avoir à modifier les systèmes existants. Ce module de communication câblé s'installe en trois jours. L'entreprise a noté un gain de temps de 25 % tout au long de la phase expérimentale soit un

gain de productivité pour l'exploitation et de temps de parcours pour les voyageurs. « Nous sommes dans le cadre d'un démonstrateur autonome, un dispositif allégé, flexible, programmable, et facilement déployable sur d'autres lignes, » considère Benjamin Jolivière chargé de projet véhicule autonome à la RATP. D'ailleurs, une autre expérimentation a été menée pour Tisséo Collectivités autorité organisatrice des mobilités du réseau de transports en commun de Toulouse, sur une ligne de son réseau. ■

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

OUVRAGES D'ART

972

SPÉCIAL INNOVATIONS ET TRANSITIONS

973

SOLS ET FONDATIONS

974

ÉNERGIE

975

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES

976

TRAVAUX SOUTERRAINS

977

INTERNATIONAL

978

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

979

OUVRAGES D'ART

980

SPÉCIAL JEUX DE PARIS 2024

981

SOLS ET FONDATIONS

982

SPÉCIAL BÉTONS DU FUTUR

983

VILLE ET PATRIMOINE

984

TRAVAUX SOUTERRAINS

985

INTERNATIONAL

986

*Offre valable jusqu'au 31/11/2023



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : TBS GROUP - Service Abonnement Revue TRAVAUX - 20 rue Rouget de Lisle - 92130 Issy les Moulineaux
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"/> 972 x | <input type="checkbox"/> 977 x | <input type="checkbox"/> 982 x |
| <input type="checkbox"/> 973 x | <input type="checkbox"/> 978 x | <input type="checkbox"/> 983 x |
| <input type="checkbox"/> 974 x | <input type="checkbox"/> 979 x | <input type="checkbox"/> 984 x |
| <input type="checkbox"/> 975 x | <input type="checkbox"/> 980 x | <input type="checkbox"/> 985 x |
| <input type="checkbox"/> 976 x | <input type="checkbox"/> 981 x | <input type="checkbox"/> 986 x |

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

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

*Offre valable jusqu'au 31/11/2023 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « Informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

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

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

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

JCB LANCE UNE NOUVELLE GAMME DE NACELLES CISEAUX ÉLECTRIQUES

JCB renouvelle sa gamme de nacelles ciseaux à commande hydraulique par six nouveaux modèles à commande électrique. Ces nouveaux modèles permettent de gagner jusqu'à 53% d'autonomie, offrent une meilleure traction et peuvent porter jusqu'à 450 kg contre 230 kg dans les précédentes versions. Le déploiement de ces nacelles en ciseaux atteint désormais 15,8 m contre 7,71 m précédemment.

Les moteurs électriques permettent de monter des pentes jusqu'à 25%, ce qui facilite le chargement sur les camions et réduisent aussi les risques de fuites et facilitent l'entretien de la machine. Trois premiers modèles de ces nacelles sont déjà sur le marché et trois autres doivent être commercialisés plus tard dans l'année.

L'ENTREPRISE STRADAL DÉVELOPPE UNE INNOVATION POUR LUTTER CONTRE LA POLLUTION DES EAUX

La pollution des eaux de ruissellement reste un enjeu majeur de la préservation des milieux naturels, aquatiques et de la ressource en eau.

Stradal présente le DDSelect, un décanteur hydrodynamique qui permet de traiter les polluants présents dans les eaux pluviales. Intégré dans une enveloppe en béton bas carbone haute performance, ce dernier est 100% recyclable. Ultra-compact et dimensionné au plus juste, il a une emprise au sol très réduite, dix fois moins volumineux qu'un décanteur lamellaire et trente fois moins qu'un bassin de décantation. Cette innovation s'adresse aux collectivités en charge de l'eau et de l'assainissement, afin qu'elles puissent gérer durablement les eaux de ruissellement.

LE POTENTIEL DES RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID CARTOGRAPHIÉ, EN RÉGION PACA

Le Cerema a développé un outil cartographique, Potentiel Réseau chaud froid (RCF), permettant d'identifier les secteurs opportuns pour le développement de réseaux de chaleur et/ou de froid. Ces cartes précises ont été développées dans le cadre du projet européen Life "Heat&Cool" visant à massifier ces réseaux qui ont des sources renouvelables et de récupération (bois, géothermie, thalassothérapie...) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca). Ce projet a réuni de nombreux acteurs tels que le Cerema, mais aussi l'association Amorce, la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) ainsi que des collectivités de la région, la métropole Nice Côte d'Azur, la ville de Port-de-Bouc et Paullo une commune italienne.

La première étape de ce projet, pilotée par le Cerema, a consisté à caractériser

le potentiel de développement des réseaux de chaleur et/ou de froid de la région, sous forme des cartes élaborées à partir d'une maille de 100x100 m.

→ De nombreuses bases de données

Cet outil cartographique exploite de nombreuses bases de données et référentiels nationaux (Fichiers Fonciers, INSEE, IGN, SDES, ADEME...) et des ressources régionales, issues notamment de l'Observatoire régional énergie climat air. L'ensemble des données a permis d'alimenter une analyse multicritère et d'aboutir à l'identification du potentiel, qui offre trois entrées : réseau de chaleur, réseau de froid, et réseau de chaleur et de froid.

→ Au niveau national

Les utilisateurs de l'outil Potentiel RCF pourront ainsi visualiser les secteurs les plus opportuns en région Paca, qui pour-

ront faire l'objet d'études plus approfondies. Les données sont disponibles en open data et téléchargeables. Cet outil pourra se substituer ou faciliter la réalisation des études d'opportunité par une collectivité ou son prestataire. Il pourra être utile lors de l'élaboration de stratégie de planification énergétique ou d'aménagement du territoire de l'échelle régionale tel que le SRADET.

Le Cerema envisage, avec le soutien de l'Ademe et de la Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), de déployer cet outil au niveau national avec l'ajout de nouveaux indicateurs, tels que les modes de chauffage des bâtiments.

Des analyses thématiques pourront également être développées selon les priorités des territoires tels que le potentiel solaire thermique, le potentiel de la ressource biomasse, la précarité énergétique... ■

NOUVEAUX COLORIS POUR LE REVÊTEMENT RÉSINEO® DRAIN



Résineo® Drain est un revêtement poreux qui permet que les eaux de pluie s'infiltrent dans le sol.

Afin d'améliorer la gestion du cycle de l'eau, le revêtement Résineo® Drain offre une capacité de drainage allant jusqu'à 50 litres d'eau par seconde et par mètre carré. Fabriqué à partir de granulats minéraux et de résine drainante, ce revêtement très minéral est destiné à être posé en bord de bassin, aussi bien dans les espaces publics que privés. L'esthétique fait partie de ses caractéristiques.

Aussi l'enseigne vient de lancer une nouvelle gamme de 6 coloris baptisée Minéral. L'utilisation de granulats s'apparentant à des galets de rivière, avec une finition satinée, constitue une alternative à la pierre naturelle ou au grès cérame. « Cette nouvelle gamme met en valeur les minéraux qui composent nos revêtements et assoit ainsi la minéralité du marbre, avec un rendu esthétique unique,

tout en maintenant les qualités techniques propres à notre revêtement Résineo® Drain, » a expliqué Charline Merré, Directrice Développement de Résineo. Ce revêtement technique peut être posé sur une multitude de supports tels que la pierre naturelle, le carrelage, le béton mais aussi sur des graves non traitées (GNT). En rénovation, il pourra être posé directement sur un carrelage. ■

La CNETP regroupe **9 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations auprès de **286 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- La mise en oeuvre du régime de chômage intérimaires 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

ÉVÈNEMENT

• 6 ET 7 JUILLET

Troisième édition Innov Day TP

Organisé par la Fédération régionale des TP Auvergne-Rhône-Alpes, Indura et le Hub Innonov'Infra

Lieu : hippodrome de Bron-Parilly, aux côtés du salon Espace BTP

• 19 ET 20 SEPTEMBRE

Aquapolis Expo

Lieu : Espace Champerret, Paris

FORMATIONS

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

• 11 AU 13 SEPTEMBRE

Élaborer un dossier de dérogation espèces protégées

Lieu : Paris

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

• 2 ET 3 OCTOBRE

Les fondamentaux de l'urbanisme - Comprendre l'urbanisme sans en être spécialiste

Lieu : Paris

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

• 9 AU 11 OCTOBRE

Passer d'un rôle d'expert à un rôle de manager

Lieu : Paris

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

• 19 ET 20 OCTOBRE

La fabrication de la maquette numérique et les outils du BIM

Lieu : Paris

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

• 6 AU 8 DÉCEMBRE

Les outils clés du chef de projet occasionnel

Lieu : Paris

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

NOMINATIONS

FÉDÉRATION FRANÇAISE DES TÉLÉCOMS

Le Conseil d'administration de la Fédération Française des Télécoms (FFTélécoms) a élu Nicolas Guérin, en tant que Président. Il occupe les fonctions de Secrétaire général du groupe Orange et de Président du Comité stratégique de la filière (CSF)

" Infrastructures Numériques "

Il succède à Liza Bellulo, Secrétaire générale de Bouygues Telecom, qui devient Vice-Présidente de la FFTélécoms.

BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

Bertrand Burtschell a été nommé directeur général de Bouygues Travaux Publics et il intègre le Comité exécutif de Bouygues Construction. Il remplace Philippe Amequin.

CONTINENTAL

Adrien Eymard devient le nouveau Directeur des organisations de ventes Europe, au sein "la Business Area Smart Mobility".

GROUPE INDIGO

Sébastien Fraisse a été nommé président du directoire par le conseil de surveillance du groupe Indigo. Il succède à Serge Clément.

J.B.PASTOR & FILS

SUR TERRE ET SUR MER, UN DÉVELOPPEMENT ÉCO-RESPONSABLE

Du stade Louis II en 1936 à la première mise en souterrain de la voie ferrée pour permettre à Monaco de disposer d'un accès sans entrave à la mer entre 1958 et 1962 en passant par le Sporting d'Été en 1973, la tranchée couverte Aureglia en 2005, le Simona en 2012, la digue du port de Fontvieille en 2016, l'entreprise J.B.Pastor & Fils a participé à toutes les réalisations qui ont profondément transformé la Principauté de Monaco et contribué à son développement. La récente extension sur la mer "Mareterra" et le potentiel projet à venir Neverland d'îles flottantes en Méditerranée ainsi que des incursions à Londres et à Carmel, en Californie, vont permettre à cette entreprise profondément ancrée dans son territoire de poursuivre sa croissance avec une prise en compte désormais impérative de la protection de l'environnement terrestre et marin. C'est ce qui ressort des propos de Patrice Pastor, arrière-petit-fils du fondateur Jean-Baptiste Pastor et quatrième du nom à la tête d'une entreprise engagée plus que jamais dans un développement éco-responsable.

Entretien avec Patrice Pastor, président délégué des entreprises J.B.Pastor & fils. PROPOS RECUEILLIS

PAR MARC MONTAGNON



1

Quelles sont les origines de l'entreprise ?

L'histoire a débuté il y a plus d'un siècle, lorsque Jean-Baptiste Pastor, maçon de profession, quitta son pays natal, l'Italie, pour travailler à Monaco. En 1920, il crée en nom personnel J.B.Pastor & Fils, devenue Société Anonyme des Entreprises J.B.Pastor & Fils le 30 juin 1943 à son initiative.

En 1936, l'entreprise se voit confier la réalisation du Stade de la Principauté par le Prince Louis II, dont la forme est reprise dans le logotype de la S.A.M. des entreprises J.B.Pastor & Fils.

C'est à partir de ce chantier phare que se sont construits peu à peu le savoir-faire et la notoriété de la famille Pastor,

fruit du travail acharné d'une dynastie de bâtisseurs, dont le savoir-faire indiscutable et la passion de la construction ont été transmis de père en fils depuis quatre générations. En effet, Gildo et Jean Pastor, fils de Jean-Baptiste, ont assuré la relève ; la génération suivante constituée d'un trio indissociable, à savoir Victor J.B., Edmond et Jean-Antoine Pastor, a poursuivi sans relâche dans ce noble métier.

Victor J.B. Pastor, fils de Gildo, a créé la structure juridique familiale "Groupe Pastor" pour assurer l'avenir des siens et poursuivre l'œuvre de son grand-père, Jean-Baptiste et de son père, Gildo, épaulé par ses cousins, Edmond et Jean-Antoine, fils de Jean Pastor.

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 2 © J.B.PASTOR & FILS - FIGURE 3 © LOÏC MALAVARD



2



3

Aujourd'hui, Patrice Pastor poursuit son essor à Londres, depuis 2010 et à Carmel-by-the-Sea, en Californie, depuis 2015, par le biais de Pastor Real Estate et de Esperanza Carmel LLC.

Quel est aujourd'hui l'éventail des activités du groupe ?

Quelques exemples de réalisations permettent de cerner la diversité de notre activité.

Les constructions prestigieuses et hautement symboliques se sont succédées, telles que : la mise en souterrain de la voie ferrée pour permettre à Monte-Carlo de disposer d'un accès sans entrave à la mer, des immeubles de standing dans l'ensemble de la Principauté et notamment en front de mer sur le complexe balnéaire du Larvotto, sur l'avenue Princesse Grace tels que "Le Beach Plaza", l'actuel hôtel "Le Méridien", "Le Bahia", "L'Estoril", "Le Formentor", "Le Roccabella"... sans oublier le "Sporting d'Été" en 1973 et son incroyable dispositif de toit ouvrant, la "Villa Troglodyte" et le "One Monte Carlo" en 2019. Pour ce dernier, J.B.Pastor & Fils a réalisé l'ensemble des terrassements, soutènement, fondations spéciales, gros œuvre et structures béton. Il en a été de même, en 2021, pour le complexe balnéaire du Larvotto.

En complément de ses réalisations dans le domaine du bâtiment, le groupe a-t-il réalisé des travaux de génie civil à Monaco ?

Une maîtrise des techniques les plus avancées en matière de Génie Civil, permet à la S.A.M. des Entreprises J.B.Pastor & Fils de conduire des chantiers de tailles très variées couvrant l'ensemble des métiers de cette activité et dont l'organisation est souvent ren-

PATRICE PASTOR : PARCOURS

Après avoir passé son baccalauréat à Monaco, Patrice Pastor passe trois ans à Montpellier, entre 1991 et 1994, pour suivre au sein du CNAM la formation de l'Institut de la Construction et de l'Habitat (ICH).

Il rejoint alors l'entreprise J.B.Pastor & Fils en juin 1994 au sein de laquelle il seconde son père Victor Pastor jusqu'à son décès le 13 mars 2002.

Patrice Pastor est président délégué des entreprises J.B.Pastor & Fils depuis mars 2002.

1- Patrice Pastor, président délégué des entreprises J.B.Pastor & Fils.

2- La tranchée couverte Aureglia réalisée en tous corps d'état en 2003 pour le compte du Gouvernement Princier et du Service des Travaux Publics.

3- L'Hôtel de Paris, entièrement restructuré et le "One Monte Carlo", au premier plan.

4- La digue du port de Fontvieille (2016).

5- Prolongation par Trasomar de l'émissaire en mer PP330 permettant l'alimentation de la boucle thalasso-thermique desservant le nouveau quartier Mareterra, le Grimaldi Forum et le quartier du Larvotto.

due très complexe compte tenu de leur réalisation en site fortement urbanisé. À titre d'exemple : les têtes amont et aval du tunnel descendant Ouest de Monaco, destinées à recevoir les locaux techniques, l'usine de désenfumage et les rampes d'accès au tunnel, ainsi que la construction à Monaco de plusieurs parkings souterrains pour l'État ou dans le cadre de promotions immobilières. Elle a également réalisé la reprise en sous-œuvre de parkings souterrains existants, tel que celui du "Sporting d'Été" situé sur la presqu'île du Larvotto visant à le rendre conforme aux nouvelles réglementations parasismiques en vigueur tout en maintenant ledit parking partiellement en exploitation ainsi que plusieurs tronçons de la "Dorsale", ouvrages réalisés sur les délaissés SNCF en tranchées couvertes et permettant de basculer l'important trafic routier traversant la Principauté de Monaco en souterrain et d'y réacheminer les principaux réseaux de transport des compagnies concessionnaires. On peut y ajouter la digue du port de Fontvieille, le quai Albert 1^{er} et le quai Kennedy ainsi que de nombreux ouvrages d'assainissement, de collecte et de traitement des eaux pluviales (émissaires, bassins d'orage...) et des

travaux portuaires incluant notamment le renforcement de la darse Nord.

Le groupe intervient-il également dans le domaine maritime ?

Il y est présent au travers des entreprises Trasomar et Mare Nostrum.

Basée sur le Port de Monaco, l'entreprise Trasomar, fondée en 1994, est spécialisée dans les travaux maritimes et sous-marins. Elle a su mettre à profit sa localisation géographique et son savoir-faire pour devenir une entreprise incontournable dans la réalisation d'ouvrages maritimes et notamment de type géotubes : digues sous-marines permanentes, écologiques, esthétiques, invisibles et économiques.

Grâce aux tubes géotextiles ou géotubes, Trasomar peut empêcher, minimiser les dégâts causés par la mer, en offrant des solutions aux états, collectivités ou particuliers, une alternative aux enrochements maritimes traditionnels, facilitant la maîtrise de la houle, rendant possible une lutte réelle contre l'érosion des plages par la protection du littoral, minimisant l'emprise de la protection. Le principe de cette solution consiste en l'utilisation de tubes géotextiles développés au départ grâce à la contribution d'ingénieurs de l'Armée américaine, remplis avec du sable d'apport ou bien collecté sur site.

Cette technologie efficace préserve le paysage côtier et la vie sous-marine, à l'heure où la protection de l'Environnement est une priorité pour tous, Trasomar propose son expertise pour l'implantation de ce dispositif technique qui saura se faire oublier et qui résoudra bien des problèmes que rencontrent nombres d'acteurs pour protéger leurs plages et leurs fonds marins, essentiels au tourisme et à la protection de la qualité de vie des générations futures. ▷

© J.B.PASTOR & FILS



© MC CLIC



Parmi ses réalisations récentes, la lutte contre l'érosion de la plage du Rayol Est/Ouest et la préservation du trait de côte en 2020.

D'autres chantiers récents méritent d'être cités :

- Prolongation de l'émissaire en mer PP330 à Monaco. Cet ouvrage permet l'alimentation de la boucle thalasso-thermique desservant le nouveau quartier Mareterra, le Grimaldi Forum et le quartier du Larvotto ;
- Pose des émissaires en mer réseaux R280 et Epext de l'extension en mer, travaux ayant nécessité du déroctage sous-marins (950 m³) pour pouvoir poser 265 m de tuyaux PEHD de diamètre 2500, 165 m de tuyau PEHD de diamètre 1300 ;
- Réalisation d'un atténuateur de houle sous la forme d'une digue sous-marine constituée de conteneurs géo-synthétiques remplis de sable au droit du Lido de Sète à Marseillan pour le compte de l'Agglomération de Thau, travaux consistant en la pose de 57 000 m² de tapis anti-affouillement, 115 000 m³ de draguage de sable et de 4 780 m de tubes en géotextile.

Quelle est l'activité de Mare Nostrum ?

La société Mare Nostrum est spécialisée en travaux sous-marins. Elle a été créée en 1990, et a complété la S.A.M. Trasomar en 2019. Installées dans le port de Nice depuis plus de 30 ans, ses équipes interviennent sur tout le Littoral de la Côte d'Azur. Ses compétences techniques, acquises de longue date, lui permettent de mener à bien des chantiers complexes dans les aménagements portuaires, les travaux de



© J.B.PASTOR & FILS/JEAN-PIERRE LOTT

6- L'immeuble futuriste Simona, dû à l'architecte Jean-Pierre Lott (2012).

7- Pose des émissaires en mer des réseaux R280 et prolongement de l'extension en mer.

8- Pose d'enrochements pour l'aménagement maritime du stade nautique des Jeux Olympiques 2024 à Marseille.

9- Les camions de chantier de J.B.Pastor et Fils en 1944.

10- Le premier Stade Louis II d'une capacité de 13000 places construit entre 1936 et 1939 par J.B.Pastor & Fils à la demande du Prince Louis II de Monaco.

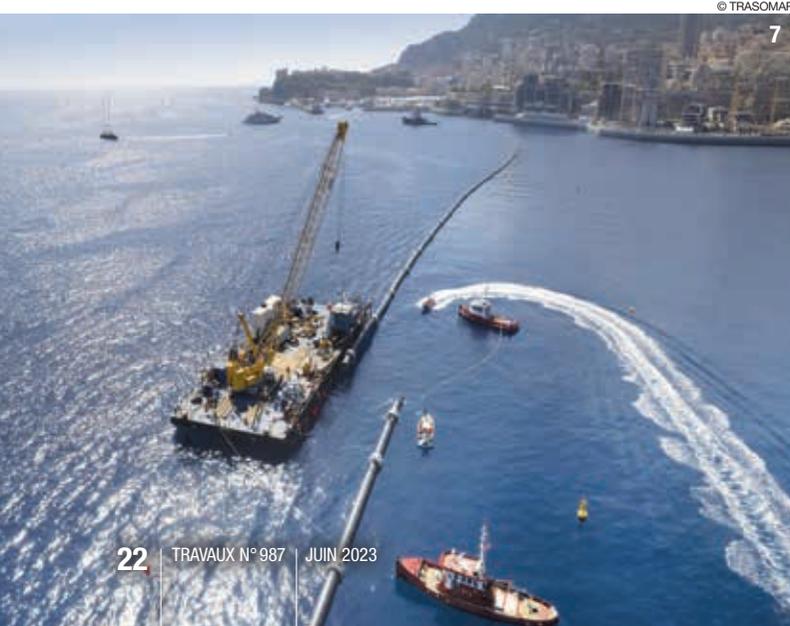
11- Le Shoalbuster "The Bull" de Trasomar remorquant le ponton "Edmond" de 60 m x 22 m.

12- Réalisation d'un atténuateur de houle sous la forme d'une digue sous-marine en conteneurs géo-synthétiques remplis de sable au droit du Lido de Sète à Marseillan.

balisage, les émissaires ou tout autre milieu aqueux ou atmosphère gazeuse soumis à la décompression.

Dans le cadre de l'arrêté français de septembre 2017, la société est certifiée depuis le 23 décembre 2019 en tant qu'entreprise exerçant des travaux hyperbares dans le cadre de la mention A.

Aussi, afin d'être en amont sur les sujets environnementaux, de législation et de sécurité, l'entreprise a intégré le bureau du SNETI (Syndicat National des Entreprises de Travaux Immergés) afin d'être un représentant de cet organisme sur la région PACA et avoir une prise de position sur les textes qui régissent notre secteur d'activité.



© TRASOMAR

7



© WATHSAPP IMAGE

8

J.B.PASTOR & FILS : TOUS LES DOMAINES DES TRAVAUX PUBLICS ET DU BÂTIMENT

Implantée à Monaco depuis plus d'un siècle, J.B.Pastor & Fils regroupe 10 enseignes et sociétés intervenant dans l'ensemble des domaines d'activités des Travaux Publics et du bâtiment en Principauté de Monaco : promotion immobilière, maîtrise d'ouvrage déléguée, construction, travaux publics et privés, réhabilitation, travaux maritimes et sous-marins...

Le groupe emploie 953 collaborateurs en CDI et a réalisé en 2022 un chiffre d'affaires total en Principauté de 224,5 millions d'euros incluant ses différentes entités, dont 176 millions d'euros pour la seule entreprise J.B.Pastor & Fils, en travaux hors promotions immobilières. Elle compte à son actif plus de 100 réalisations de haut standing sur le territoire monégasque depuis 1997, soit sur les vingt-cinq dernières années d'activité, le nombre de ses références depuis son origine étant bien supérieur.



9 © J.B.PASTOR & FILS



10 © J.B.PASTOR & FILS

Ses équipes sont constituées de plongeurs qualifiés qui peuvent répondre rapidement aux exigences de ses clients.

Mare Nostrum Saint-Tropez, créée en 1965 à Saint-Tropez regroupe depuis son origine des activités d'assistance sur les mouillages de yachts et de travaux immergés. Anciennement sous

le nom de Faucon, cette entreprise a rejoint Mare Nostrum en 2021 et, conformément à l'arrêté français déjà cité, a été évaluée et jugée conforme aux exigences requises par le programme de certification Entreprise Hyperbare PRO PPS 051 Ind 1 pour la réalisation des travaux hyperbares Mention A.

Quels sont les projets que vous considérez comme les plus marquants réalisés ces dernières années par l'entreprise J.B.Pastor & Fils ?

De ma génération, il y en a trois qui ont transformé l'entreprise : l'immeuble Simona, que l'on appelle ici la "Tour Simona" et le complexe Hôtel de

Paris/One Monte Carlo, le troisième est le projet Mareterra, mais qui n'est pas encore une référence puisqu'il est en cours de réalisation.

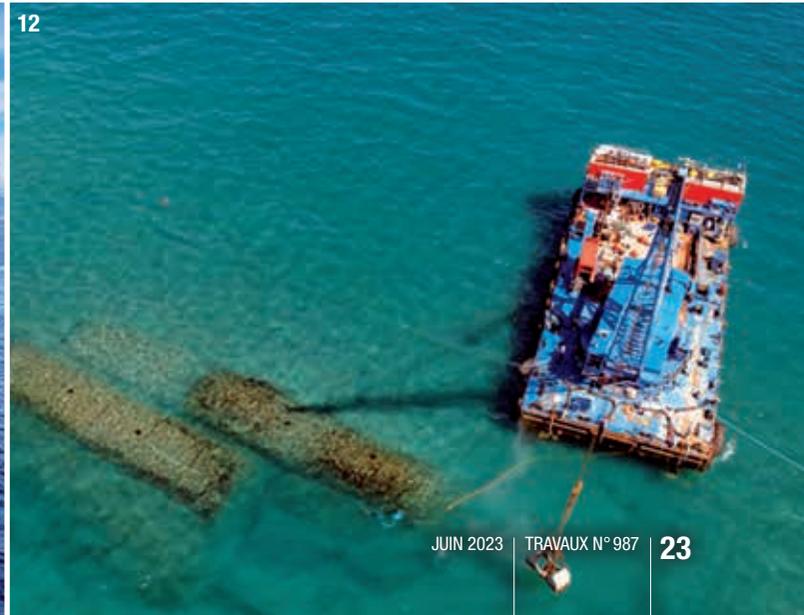
L'immeuble futuriste que constitue le Simona est devenu un bâtiment emblématique à Monaco, avec une technicité qui l'apparente vraiment à un ouvrage d'art. ▶

© TRASOMAR



11

© CLAUDE CRUELLS



12



13

© J.B.PASTOR & FILS/BOUYGUES TP/JEAN-PIERRE LOTT

NEVERLAND : UN CONCEPT EXTRAORDINAIRE

Situé dans le centre-ville et aux abords du Parc Princesse Antoinette dans un cadre exceptionnel, il a été construit entre 2008 et 2012. Une passerelle, passant au-dessus d'un bassin relie une promenade allant de l'entrée de l'Immeuble au boulevard du Jardin Exotique. Cet ouvrage double dessiné par les architectes Suzanne Belaieff et Jean-Pierre Lott offre une perspective nouvelle faite de lignes verticales et de courbes de façades alliant le verre et le métal.

Le deuxième projet marquant est celui que nous avons réalisé en 2018 pour la Société des Bains de Mer avec les deux constructions simultanées et mitoyennes que sont la restructuration lourde de l'Hôtel de Paris et la construction du "One Monte Carlo" conçu par l'architecte Richard Rogers. "One Monte-Carlo" ouvre un nouveau chapitre pour le cœur central de Monaco, en offrant une expérience luxe globale à proximité immédiate de la mythique place du Casino. Combinant centre de conférences, résidentiel haut

Neverland est un concept d'île flottante qui sera ancrée à -90 m environ de profondeur dans une zone située à 900 m de la côte au-delà de la zone réservée aux ancrages de la digue flottante du port Hercule.

L'infrastructure de l'île est constituée d'un flotteur rectangulaire de 82 m de longueur, 56 m de largeur et 15 m de hauteur, lui-même composé de 4 caissons en béton, préfabriqués indépendamment dans un caissonnier et assemblés entre eux afin de former une structure monolithique.

La superstructure, construite bord à quai sur cette plateforme flottante, est constituée d'un niveau en sous-sol, de 4 niveaux en surface et d'un helipad situé à 15 m au-dessus de la surface du flotteur.

Le poids des caissons béton est de l'ordre de 30 000 t, les superstructures sont évaluées à 16 500 t.

L'infrastructure est constituée de cellules étanches périphériques permettant de ballaster/déballaster le flotteur afin d'adapter le tirant d'eau aux conditions météorologiques été/hiver.

Deux niveaux de locaux techniques sont situés en partie centrale des caissons afin d'assurer les besoins fonctionnels de l'île pour son exploitation

Différents types d'études sont menés actuellement afin de valider la faisabilité du projet : études du comportement à la mer (stabilité, confort, franchissement, ancrage), études structurelles, établissement du cadre normatif pour ce concept innovant.

de gamme, shopping, gastronomie, culture et business, ce quartier ultramoderne se déploie autour de la promenade Princesse Charlene, une nouvelle artère piétonne arborée et bordée de 7 immeubles où la transparence et le végétal sont à l'honneur.

Ces deux chantiers que nous avons assumés en parallèle ont fait passer un cap à notre entreprise.

Quant à Mareterra, quelles sont les grandes lignes de ce projet ?

Pour faire face à la demande croissante de logements, la Principauté n'a eu d'autre choix que d'agrandir son territoire. C'est sur la mer qu'elle doit désormais gagner ses nouvelles frontières.

Au printemps 2013, le Prince Albert II a ainsi décidé de lancer un projet d'urbanisation en mer : Mareterra au lieu-dit "L'anse du Portier". C'est un projet que j'ai développé avec Gérard Brianti, qui paraissait irréaliste, mais qui a été achevé, pour ce qui est des infrastructures maritimes, avec quelques mois

© J.B.PASTOR & FILS/BOUYGUES TP/JEAN-PIERRE LOTT

14

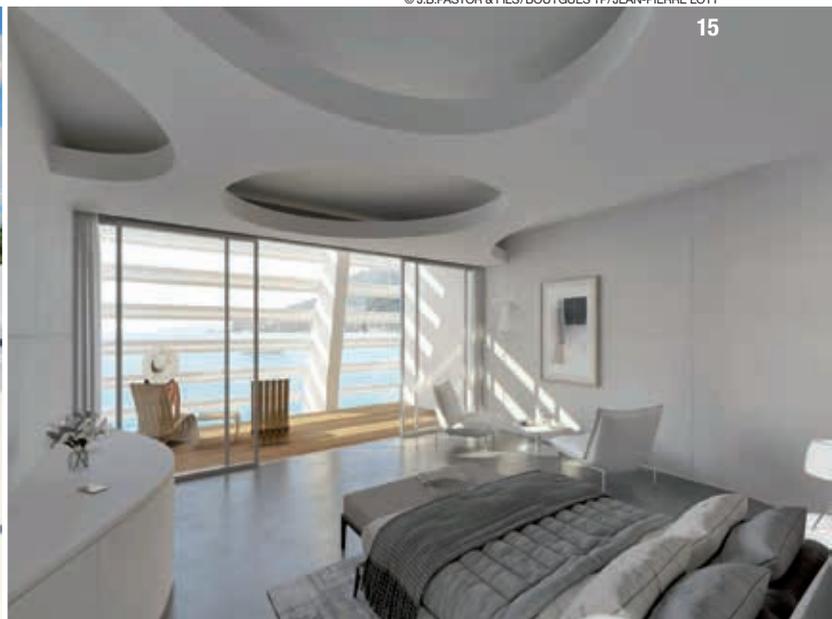


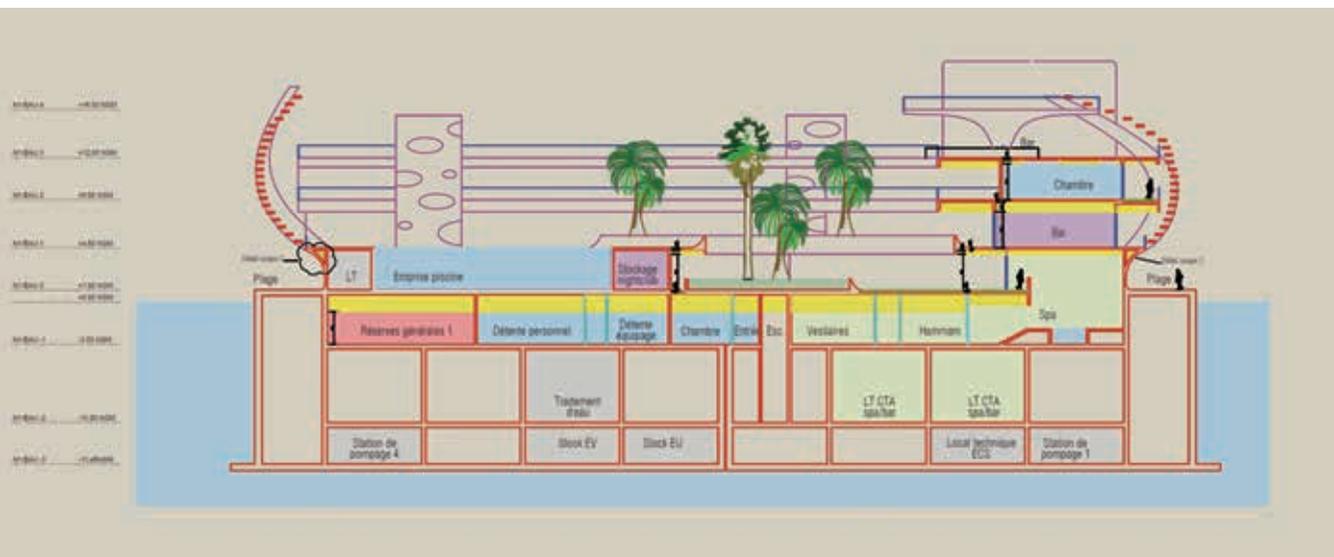
24

TRAVAUX N° 987 | JUIN 2023

© J.B.PASTOR & FILS/BOUYGUES TP/JEAN-PIERRE LOTT

15





d'avance sur les délais et dans le strict respect du budget, ce qui est tout à fait hors norme pour un contrat supérieur à 1 million d'euros.

Mareterra, ce sont cinq immeubles de luxe, 14 villas, un espace commercial,

un nouveau port, un parking public de 165 places et un parc végétalisé qui sont en train de voir le jour.

Pour mener à bien un projet d'une telle envergure, il a fallu mobiliser les troupes : 1 500 personnes travaillent

désormais sur le quartier, imaginé par les architectes Denis Valode (Valode & Pistre) et Renzo Piano (Renzo Piano Building Workshop) et le paysagiste Michel Desvigne, auxquels se sont joints Tadao Ando, Foster and Partners

ou encore l'architecte Stefano Boeri. Mareterra s'intégrera parfaitement à notre littoral et sera considéré dans quelques années comme une extension naturelle de notre territoire.

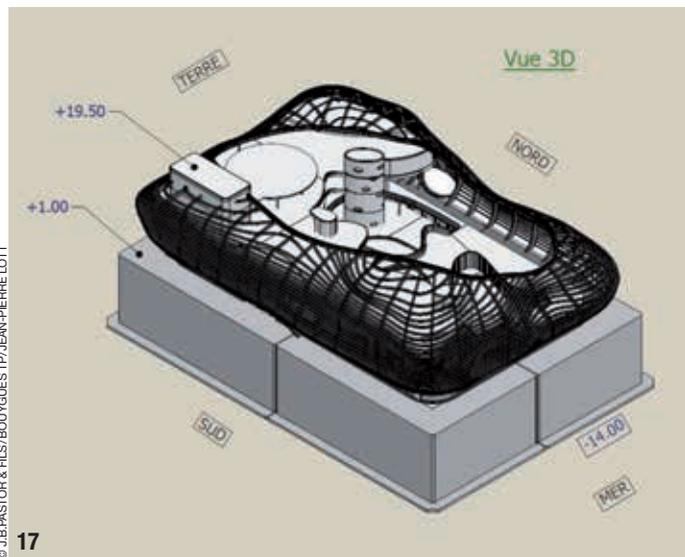
Ce n'est d'ailleurs pas la première fois que la Principauté s'étend sur la mer : depuis le début du XIX^e siècle, Monaco a élargi son territoire de 20% avec, notamment, le quartier de Fontvieille qui sera prochainement rénové.

13- La première des îles flottantes du projet Neverland (conception : Jean-Pierre Lott, architecte, JB Pastor & Fils, Bouygues TP).

14, 15, 18 & 19- Neverland se veut être un quartier de vie à part entière... en mer.

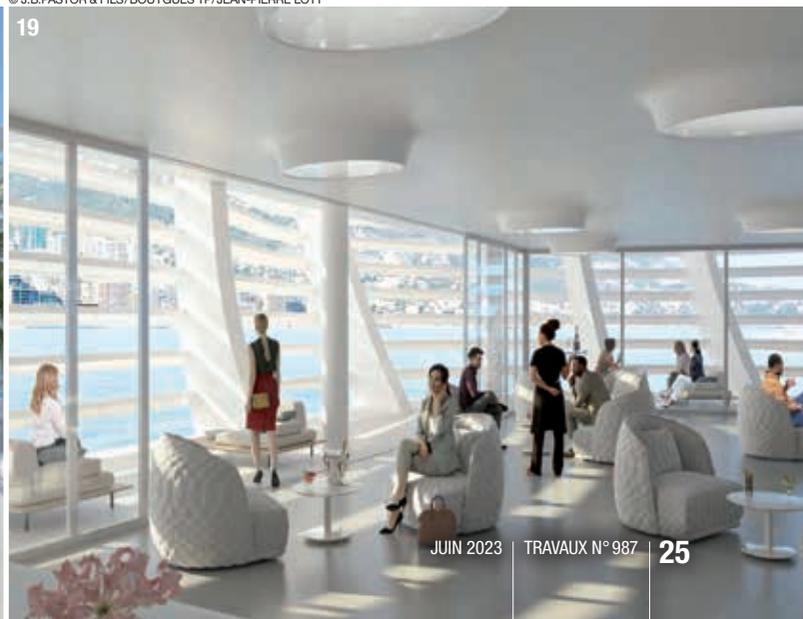
16- Coupe longitudinale de l'île flottante Neverland.

17- Vue 3D de l'ensemble du flotteur et de la superstructure.



Quelles sont les caractéristiques maritimes de Mareterra ?

La réalisation des infrastructures maritimes a été confiée à Bouygues Travaux Publics en 2015 dans le cadre d'un contrat de conception/réalisation. À l'issue de cette expérience, très positive, j'ai d'ailleurs décidé de m'investir aux côtés de Bouygues en prenant une participation de 50% dans Richelmi, la filiale monégasque de Bouygues. L'infrastructure de Mareterra, qui permet le développement d'un nouveau quartier de la Principauté - 60 000 m² gagnés sur la mer, soit 3% du territoire ▷



monégasque -, est constituée d'un terre-plein entouré d'une ceinture de protection composée de 18 caissons en béton armé posés sur un remblai sous-marin. Pour réaliser cette extension en mer, Bouygues Travaux Publics a mis au point des méthodes constructives inédites et innovantes qui ont eu notamment pour objectifs de réduire l'impact du chantier sur l'environnement et de préserver le patrimoine naturel marin de la Principauté ; le sujet était majeur ! Situés entre deux réserves inscrites au titre des aires marines protégées (la réserve sous-marine du Larvotto et le tombant des Spélugues), les travaux d'infrastructures maritimes ont fait l'objet d'un suivi vigilant de la part de la Principauté. Intégrant les conclusions d'une étude d'impact environnemental menée avec ses partenaires, l'entreprise a ainsi pensé chaque élément du projet avec le souci constant de limiter les atteintes à l'environnement. Ce chantier a constitué un véritable laboratoire pour le développement de méthodes et de technologies inédites minimisant les atteintes portées dans le cadre de travaux de grande envergure en mer.

De la conception à l'exécution du programme de construction, un arsenal de mesures vise trois objectifs principaux : éviter de perturber le milieu naturel, réduire l'impact des travaux sur l'environnement, compenser les dommages causés à l'environnement en attribuant des fonctionnalités écologiques.

Les 510 m² de Posidonia Oceanica, une herbe marine protégée, seront sauvés et des récifs artificiels seront créés pour favoriser la colonisation de la nouvelle côte maritime. Sur la terre ferme, les concepteurs du projet ont prévu la plantation de 800 arbres, la création de nids d'oiseaux et d'hô-

tels à insectes, ainsi que de 600 mètres de piste cyclable et de 19000 m² de zone piétonne.

Les logements et jardins feront aussi l'objet de mesures écologiques, comme l'installation de 9000 m² de panneaux solaires, 200 systèmes de recharge pour véhicules électriques ou encore l'arrosage automatique en fonction de l'humidité et des précipitations.

En ce qui concerne les superstructures, qui sont quasiment achevées, J.B.Pastor & Fils est associée à Engeco, entreprise de construction également monégasque.

Parmi les projets "maritimes" à venir, quels sont ceux dont vous pouvez déjà évoquer les grandes lignes ?

Le plus important d'entre eux est évidemment Neverland, un ensemble d'îles flottantes au large de la Principauté, conçu par l'architecte Jean-Pierre Lott avec la collaboration de J.B.Pastor & Fils et de Bouygues Travaux Publics.

Pour réaliser les infrastructures maritimes de Mareterra, Bouygues a fait construire en Pologne un "caissonnier", une importante structure métallique de 58,40 m de long, 51,30 m de large et 25,50 m de haut qui demeure unique en France.

Nous envisageons sa réutilisation dans le cadre d'un projet tout aussi extraordinaire qui est celui d'îles flottantes ancrées au large de Monaco. Des îles flottantes seraient réalisées avec le même caissonnier, ce qui permettrait de le revaloriser. Ces caissons seraient accouplés dans le port de Marseille, toutes les superstructures y seraient construites sur place et les caissons seraient acheminés jusqu'à Monaco par voie maritime.

20- Construction de la ceinture de caissons de l'extension Mareterra.

21- Contour de l'extension en caissons de Mareterra terminée et début du chantier de fondations spéciales.

22- La résidence "J.B.Pastor Project" à Carmel, en Californie : 3 parcelles de 2800 m² à l'angle de Dolores et de la 7^e avenue à usage commercial et résidentiel.

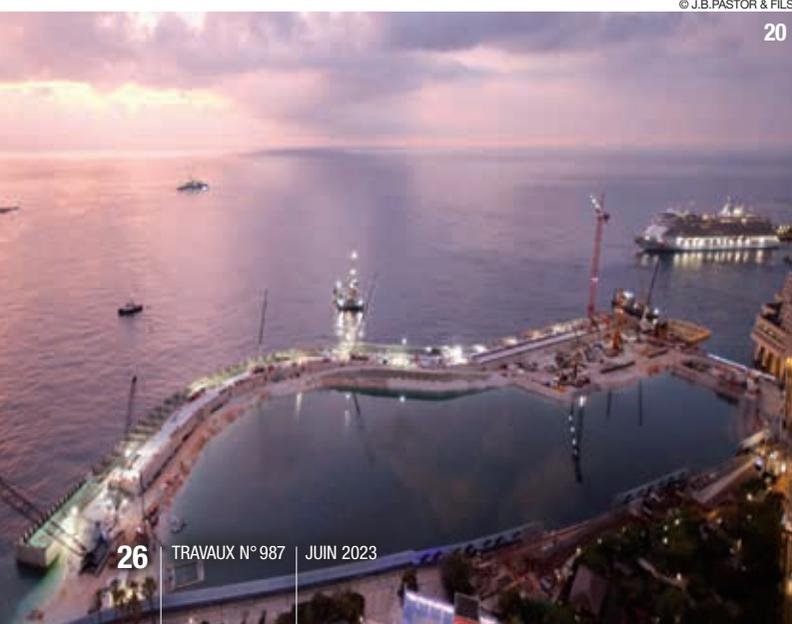
23- L'ensemble "Ulrika Plaza Project" à Carmel : 4 parcelles de 3900 m² à usage mixte à l'angle de Dolores et de la 5^e avenue.

24- Vue finale du nouveau quartier de Mareterra gagné sur la mer.

25- À l'heure du réchauffement climatique, la Villa Troglodyte (500 m²), livrée en 2019 à Monaco par l'architecte Jean-Pierre Lott et Atelier Raymond, se devait d'être économe et de respecter les enjeux environnementaux actuels en exploitant les énergies naturelles, la géothermie, l'énergie solaire et la récupération d'eau de pluie.

Les études du projet sont achevées et les derniers essais viennent d'être effectués fin mars dernier dans le bassin à houle d'Océanide à La Ciotat. C'est un projet très ambitieux mais qui a du sens. En effet, il permettrait un développement possible de la population monégasque sans continuer à perturber la partie terrestre du territoire qui est saturée. Il permettrait d'envisager la création d'habitats nombreux et importants dans des eaux territoriales qui appartiennent à la Principauté de façon écologiquement absolument irréprochable : en effet, ces îles flottantes, fixées par des câbles à des fonds de l'ordre de 80 m de profondeur, auraient un impact sur le sous-sol marin extrêmement limité. Elles constitueraient par ailleurs une source de revenus non négligeable pour l'État monégasque puisqu'elles donneraient lieu à paiement de droit d'usage. Enfin, pour la France, elles permettraient de créer dans le port de Marseille une activité de construction significative et à long terme, puisque les îles y seraient réalisées intégralement en tous corps d'état. Je suis convaincu que, dans l'avenir, l'ère du méga-yacht est finie, notamment pour des questions d'image. Ce n'est plus possible, c'est totalement indécent. En revanche, je suis également convaincu que des personnes fortunées - et il y en aura de plus en plus - seront sensibles à l'idée de pouvoir se faire construire des îles flottantes qui pourraient séjourner trois mois à Mykonos, trois mois à Ibiza et le reste du temps à Monaco. Elles seraient nettement plus confortables qu'un bateau et pourraient être tractées sans problème en Méditerranée.

Neverland constitue un projet un peu fou mais je pense qu'il y a de l'avenir pour une telle réalisation.



© J.B.PASTOR & FILS

20



© BOUYGUES TP

21



22

© J.B.PASTOR & FILS

L'INCURSION CALIFORNIENNE

La décision par Patrice Pastor de démarrer une activité immobilière en dehors de Monaco a été prise en 2010 en visant tout particulièrement Londres dans du résidentiel haut de gamme jusqu'à ce que survienne le Brexit.

Depuis le Brexit, l'entreprise a revu son orientation, tout en conservant son patrimoine londonien, et son choix s'est porté sur Carmel-by-the-Sea, une ville américaine située dans le comté de Monterey, dans l'État de Californie, à environ 150 km au sud de San Francisco.

« Carmel présente des similitudes avec Monaco, précise Patrice Pastor : petite ville de la côte Ouest en bord de mer, très soucieuse du respect de l'environnement, avec une clientèle très haut de gamme mais aussi absence de développeurs donc pas de vampirisation possible du terrain. »

« Nous nous sommes donc installés à Carmel et nous y avons développé depuis quelques années trois projets - deux de petite dimension dans la ville même - et un plus important sur la Route numéro 1 entre Carmel et Big Sur, que nous réalisons avec l'architecte Renzo Piano, qui est déjà intervenu sur le projet Mareterra. »

« Travailler aux États-Unis est très intéressant. Cela nous amène à changer nos usages et nos habitudes et nous permet de réaliser des projets immobiliers de grande qualité tout en étant extrêmement respectueux de l'environnement. »



23

© J.B.PASTOR & FILS

La première île qui a été présentée à la Principauté fin avril dernier, offre des prestations de divertissement variées : hôtel, restaurant, night-club, spa, cinéma extérieur... uniquement pour montrer que nous sommes capables de construire sur cette île des bâtiments conséquents, pas uniquement de l'habitat individuel et de créer ainsi un véritable quartier de vie.

D'ailleurs, si nous avons à développer ce concept, il est fort possible que nous réussissions à l'exporter dans d'autres pays.

Quel est le projet à venir dont J.B.Pastor & Fils pourrait être partie prenante ?

Nous avons un projet de métro souterrain déjà très détaillé que nous avons présenté à la Principauté.

Il faut rappeler que, de longue date, les autorités monégasques ont toujours eu la volonté de créer un métro souterrain entre Nice et Monaco. Un chantier titanesque. L'objectif est de faciliter le déplacement de dizaines de milliers de salariés qui effectuent tous les jours cet aller-retour. C'est le deuxième axe le plus emprunté sur le littoral car près de 35 000 salariés français travaillent à Monaco. Les trains et l'autoroute A8 qui desservent la principauté sont régulièrement saturés.

Le projet partirait de Nice-Riquier, près de l'aéroport de Nice, pour arriver directement à Monaco jusqu'à la frontière Nord de la Principauté après 9,5 km de tracé en souterrain.

Ce projet qui nécessiterait évidemment l'aval des autorités françaises représente un investissement structurel de 2 à 3 milliards d'euros et demanderait 7 à 10 ans de réalisation.

Malgré les importants investissements de la part de la Principauté sur les accès routiers, la problématique quotidienne d'accès et de sortie ne sera résolue que par un transport en site propre à haut niveau de service, et décarboné.

Plusieurs pistes sont à l'étude. La plus sérieuse serait celle d'une voie souterraine qui relierait Nice à la Brasca, et le parking Charles III, pour dissuader le plus possible les automobilistes d'entrer dans Monaco depuis ce secteur. □

© MARETERRA

24



© J.B.PASTOR & FILS

25





1
© GOLEM IMAGE

OCÉANIDE GÉNIE CÔTIER ET GÉNIE OCÉANIQUE : OPTIMISER LE PRÉSENT ET DEVANCER L'AVENIR

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

OCÉANIDE EST UNE P.M.E. INDÉPENDANTE QUI RÉALISE DES ÉTUDES ET DES MODÉLISATIONS PHYSIQUES DANS LES DOMAINES CÔTIERS ET PORTUAIRES, DES E.M.R. (ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES) ET DU GÉNIE OCÉANIQUE. BASÉE SUR LE PORT DE BRÉGAILLON, À LA SEYNE SUR MER, DANS LE VAR, ELLE S'APPUIE SUR LES COMPÉTENCES D'UNE ÉQUIPE PERMANENTE DE 18 PERSONNES, UNE PLATEFORME DE MODÉLISATION NUMÉRIQUE PERFORMANTE ET UNE COMBINAISON DE 3 MOYENS D'ESSAIS UNIQUE EN FRANCE. À TRAVERS UN PARTENARIAT FORT AVEC LES CENTRES DE R&D DE LA RÉGION SUD ET D'EUROPE AINSI QU'AVEC LES ENTREPRISES PORTÉES VERS L'INNOVATION, ELLE CONSACRE UNE PART IMPORTANTE DE SON ACTIVITÉ, SOIT 20 %, À LA RECHERCHE. AVEC BENJAMIN BAILLY, PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL D'OCÉANIDE, DÉCOUVERTE D'UNE SOCIÉTÉ TRÈS EN POINTE DANS SON SECTEUR.

L'originalité de la société réside dans le fait que, par rapport aux autres laboratoires français et européens, elle est quasiment la seule à avoir une double expertise en océanique et en côtier. Ses ingénieurs s'appuient sur la synergie qui existe entre les deux domaines et ont développé

des compétences pointues en hydrodynamique ainsi qu'en hydraulique maritime.

Par exemple, Océanide dispose d'un savoir-faire unique sur les digues flottantes ainsi que sur les digues atypiques en caissons avec des parois perforées, relevant du concept "mur d'eau".

1- Plan masse final retenu pour le Stade Nautique du Roucas Blanc à Marseille dans le cadre des JO de Paris 2024.

« Ce savoir-faire est lié au fait, précise Benjamin Bailly, qu'Océanide a réalisé une multitude d'essais pour le développement du port de la Condamine à Monaco dont a résulté la fameuse digue flottante ancrée côté terre par une rotule articulée et une contre-digue posée sur des fondations fixes transpa-

2- Benjamin Bailly, président-directeur général d'Océanide.

rentes à la houle. Ce projet inauguré en 2002 reste aujourd'hui encore unique au monde. »

Le génie océanique concerne les développements, en relative grande profondeur, pour lesquels la houle est peu sensible aux fonds.

Historiquement, il s'agissait essentiellement d'étudier les plates-formes offshore fixes ou flottantes, leurs phases d'installation et de transport par navires spécialisés. Puis cela s'est élargi à l'étude du comportement des navires de stockage de pétrole et de gaz (FPSO et FLNG) ancrés en mer ouverte. Aujourd'hui, le génie océanique concerne en grande partie l'éolien posé et flottant.

Deux modèles très différents sont ainsi apparus au sein d'Océanide entre les domaines côtiers et océaniques, nous verrons qu'ils se rejoignent aujourd'hui sur certains sujets.

LE "BASSIN DE GÉNIE OCÉANIQUE - SUD FRANCE" ET L'ÉOLIEN FLOTTANT

Les activités océaniques sont liées essentiellement aux essais qui se déroulent dans le "Bassin de Génie Océanique - Sud France".

« Ce bassin est utilisé pour des clients internationaux. Les grands bureaux d'études (Aker Solution, Technip Energies, Doris Group, ...) viennent tester leurs solutions dans le bassin ; les grandes entreprises internationales de construction (Jan de Nul, Saipem, Bouygues, DEMA, Eiffage, Allseas, Heerema) font également appel à Océanide.

Allseas a développé, par exemple, le "Pioneering Spirit", le plus grand navire d'installation de "topside" au monde et a confié à Océanide les tests en bassin du système de positionnement dynamique et des opérations d'installation et de démantèlement de topside. Ce navire est aujourd'hui utilisé pour l'installation sur des structures fixes des sous-stations électriques des champs éoliens offshore.

Avec le marché en croissance de l'éolien flottant, les développeurs de concepts font preuve de beaucoup de créativité et conçoivent de nouveaux types de flotteurs. Nous en avons testé la plupart, notamment ceux développés par : BW Ideol, Monobase Wind, Exponential Renewables (X1 Wind),

© MARC MONTAGNON



2

BENJAMIN BAILLY : PARCOURS

Le parcours de Benjamin Bailly, tant académique que personnel est lié à la mer.

Il est ingénieur de l'École Supérieure d'Ingénieurs de Marseille (ESIM), aujourd'hui École Centrale de Marseille (1996-1999), après y avoir suivi le parcours de Génie Maritime.

Durant ses études d'ingénieur, il travaille en tant que stagiaire chez Bouygues Offshore en 2^e année et chez BRLi en 3^e année - département maritime.

Entre sa 2^e et sa 3^e année, il effectue une navigation hauturière de Grèce jusqu'au Sultanat d'Oman à l'Est du Golfe d'Aden.

En 2000, Benjamin Bailly effectue son service national comme bosco manoeuvrier à bord de la goélette "l'Étoile", dernier bateau à voile de formation et de représentation de la Marine Nationale avec "la Belle Poule".

À l'issue de ce service, il entre comme ingénieur de projets chez Sogreah maritime en 2001 (devenue Artelia) et y reste jusqu'en fin 2015, chargé plus spécialement des grands projets de développement portuaire à l'international - Tanger Med 2, Nador West Med, Tema Port extension, ...

Pendant cette période, l'attrait de la mer le pousse à prendre une année sabbatique pour effectuer un tour de l'Atlantique en voilier et en double.

En 2016, il se rapproche physiquement de la mer et prend la direction de la division de Génie Côtier d'Océanide entre 2016 et 2021.

Benjamin Bailly est Président Directeur Général d'Océanide depuis 2022.

Pour Benjamin Bailly « c'est passionnant et c'est un honneur de diriger Océanide.

C'est passionnant car Océanide réunit des expertises et des moyens de modélisation physique uniques en Europe dans les domaines portuaires, côtiers et océaniques. Cela laisse imaginer la diversité des projets, des clients, des métiers exercés et des sujets à anticiper.

C'est un honneur car le fonctionnement d'Océanide est rendu possible grâce à l'implication d'une équipe stable et compétente qui mérite d'être félicitée à chaque occasion. »

Gusto NOV (Tri-Floater), Doris Group (Nerewind), SBM, Principle Power, ... »
Le flotteur semi-submersible Wind-Float® de PPI (Principle Power) a par exemple été retenu par Blue Gem Wind, développeur pionnier de l'énergie en

mer Celtique dont TotalEnergies est partie prenante, pour équiper le champ d'Erebus en Mer Celtique. Lors de sa mise en service, Erebus sera le plus grand champ d'éoliennes flottantes au monde avec 6 éoliennes de 14 MW

à 15 MW développant une puissance totale de 96 MW.

Océanide teste des concepts en rupture technologique comme celui de Monobase Wind et Exponential Renewables. Ce dernier, X1 Wind, utilise un système innovant d'amarrage à point unique, le PivotBuoy®, qui permet à la plateforme et à la turbine de s'auto-orienter sous le vent. Ceci a permis de créer une structure de support de la turbine pyramidale différente des structures plus classiques avec un mât.

Océanide travaille également régulièrement pour BW Ideol, l'une des sociétés françaises les plus avancées dans le domaine. « *L'une de ses forces, précise Benjamin Bailly, est qu'elle accompagne systématiquement les évolutions techniques de son concept de flotteur Damping Pool® de campagnes d'essais (6 au total entre 2011 et 2022). Au-delà des aspects techniques, les essais sont également la première condition pour l'obtention de financements et pour trouver un assureur. Aujourd'hui, BW Ideol est en avance notamment car elle dispose de deux démonstrateurs à l'échelle 1, en France et au Japon, qui ont déjà été confrontés à des conditions extrêmes réelles. Elle dispose en cela d'un avantage concurrentiel qui est essentiel tant au regard des assurances que des investisseurs.* »

En France, le démonstrateur se nomme FloatGen, il est installé au SEM-REV. Le SEM-REV est le 1^{er} site européen d'essais en mer multi-technologies connecté au réseau. Il dispose de tous les équipements en mer et à terre permettant la mise au point, la validation et l'optimisation de systèmes de récupération de l'énergie issue principalement de la houle et du vent offshore. Il est géré par le Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA) de Centrale Nantes.

Océanide a également testé le concept développé par SBM Offshore qui a développé la technologie TLP (Tension Leg Platform) d'ancrage de flotteurs à lignes tendues (TLP) qui permet une empreinte au sol réduite et une bonne stabilité dynamique.

Le concept de SBM Offshore équipera le parc-pilote de Provence Grand Large de trois éoliennes flottantes de 8,4 MW chacune, porté par EDF Renouvelables avec le groupe canadien Enbridge et le fonds CPP Investments. Il sera positionné à 17 kilomètres des côtes de Port-Saint-Louis-du-Rhône (Bouches-du-Rhône) et ancré à 100 mètres de profondeur. ▷

LE "BASSIN DE GÉNIE OCÉANIQUE - SUD FRANCE" ET L'ÉOLIEN POSÉ

Le "Bassin de Génie Océanique - Sud France" accompagne également les développements des structures posés de type GBS (Gravity Base Structure) pour ce qui concerne les phases de remorquage et de pose et l'étude de la stabilité en place de la structure et des protections anti-affouillement.

Plusieurs séries de tests avaient ainsi été réalisées pour le groupement Eiffage/DEME, dans le cadre de l'appel d'offres, pour le parc éolien en mer au large de Fécamp qui est le 1^{er} en construction en Normandie, et le 3^e en France (71 éoliennes).

Pour Jan de Nul, Océanide a testé les structures gravitaires de support des sous-stations électriques en mer du champ de Kiegers Flak.

Deux campagnes, une pour Acciona et une autre dans le cadre d'un projet de recherche Citeph, ont été réalisées avec pour objectif notamment de déterminer l'évolution des sous-pressions sous les fondations en fonction des matériaux d'assise. Un outil numérique calibré en a résulté.

GÉNIE OCÉANIQUE : UNE DIVERSIFICATION ENGAGÉE DEPUIS 2015

Le génie océanique a connu ces dernières années une mutation totale de ses activités de modélisation physique.

« Avec nos activités de laboratoire, nous voyons les tendances avant le grand public. Il y a quelques années, précise Benjamin Bailly, presque 100 % du chiffre d'affaires du "Bassin de Génie



3 © Océanide

Océanique - Sud France" dépendait du secteur des énergies conventionnelles (Oil & Gas). Depuis 2015, nos campagnes sont diversifiées et majoritairement consacrées aux EMR (l'éolien offshore mais aussi les WEC (Wave Energy Converter) et les SWAC (Sea Water Air Conditioning)), à la protection du littoral, à l'aquaculture offshore, à l'habitat flottant, aux conduites et câbles électriques souples et à la recherche plus fondamentale. Il y a des sujets comme l'OTEC (Offshore Thermal Energy Converter) que nous ne voyons pas encore. Du côté du LNG (gaz naturel liquéfié) ou du LH2 (hydrogène liquéfié), nous avons l'expérience pour modéliser des terminaux flottants

3- Étude des limites opérationnelles du Pioneer Spirit, plus grand navire de travaux offshore au monde développé par Allseas.

4- Modèle du flotteur WindFloat® qui sera installé sur le champ éolien Erebus en Mer Celtique.

5- Essais sur le flotteur X1 Wind PivotBuoy.

6- Tests sur le concept de Damping Pool® de BW Ideol avec une turbine de 16 MW.

en mer ouverte opérant des navires à couple. À l'heure de l'hydrogène "vert" et où l'approvisionnement par gazoduc de Russie en gaz est compromis, il peut y avoir des développements à accompagner. Nous avons toutes les clés pour nous projeter dans les trente prochaines années. »

Désormais, les campagnes d'essais pour l'Oil & Gas concernent essentiellement l'étude du comportement hydrodynamique des conduites souples installées sous les navires de stockage en mer (prise d'eau et acheminement des produits depuis les fonds marins), l'objectif étant d'améliorer leur durée de vie par rapport à celles qui sont en service aujourd'hui.



4

© Océanide



5

© Océanide



6

© Océanide



© Océanide



© Océanide

7- GBS Jan de Nul : essais de remorquage, immersion et stabilité des enrochements de la structure gravitaire servant d'embase à la sous-station électrique du champ de Kiegers Flak.

8- Étude de l'ancrage et de l'amarrage d'un "shuttle NLG" (GNL) et d'un FLNG (unité flottante de gaz naturel liquéfié) à couple.

9- Beefore (Banc d'Essais pour l'Éolien Flottant Offshore) : projet de R&D pour le développement des flotteurs hybrides en bassin à houle (physique / numérique).

LA PISCICULTURE EN MER

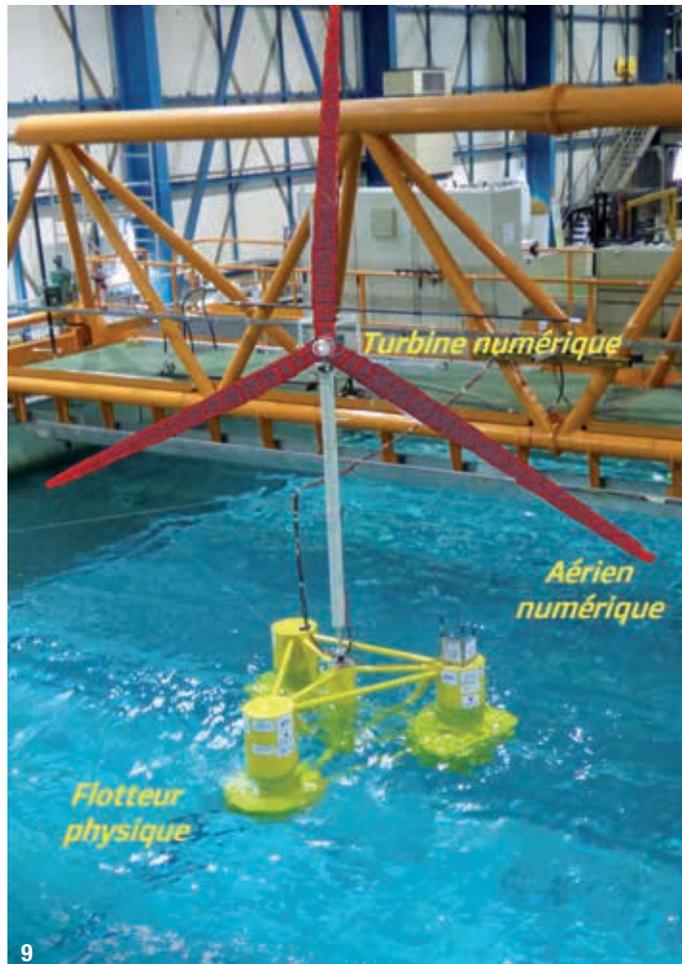
Océanide croit au développement du marché français en matière d'aquaculture en s'inspirant du modèle norvégien pour développer des fermes piscicoles. Benjamin Bailly est convaincu que des développements importants se réaliseront dans ce secteur en raison, notamment, de l'évolution probable de la législation dans le futur et aussi parce que la France dispose d'une façade maritime très importante. « La technologie conventionnelle des grands filets constituant les fermes

piscicoles en mer, qui sont de fait des "cages à poisson", posera à terme des problèmes d'acceptation des consommateurs du fait du traitement par antibiotique des poissons et des atteintes à l'environnement marin. Des parasites circulent dans la colonne d'eau ou sont concentrés les poissons et, par-

lèlement, la faune et la flore régnant sous ces filets sont détruites par les déjections des poissons. Il est donc possible qu'une nouvelle législation prévoit à terme d'interdire ces filets qui devront être remplacés par des bâches opaques avec des systèmes complexes de renouvellement régulier

de l'eau à l'intérieur des chambres et intégrer des systèmes de récupération des déjections. »

Il en résultera des installations beaucoup plus complexes dont le déploiement des bâches de grand diamètre et le comportement dans les courants sont très difficiles à maîtriser.



© Océanide

LA RECHERCHE

Océanide collabore au programme de R&D industriel à Citeph⁽¹⁾, organisé par Evolen, dont l'ambition est d'accélérer l'innovation dans le domaine des énergies, de la production à la consommation, en passant par la transformation, le stockage, le transport et la distribution. L'objectif du programme est de faire émerger des solutions qui répondent aux défis énergétiques et environnementaux, pour une énergie plus abordable, plus fiable et plus propre, qui s'inscrit pleinement dans la transition énergétique.

Dans le cadre du Citeph, Océanide a par exemple participé à un projet de recherche relatif aux conduites sous-marines positionnées sous les navires et à deux projets d'éolien offshore, l'un pour étudier la diffusion des sous-pressions sous une fondation gravitaire, l'autre pour représenter en bassin l'effort du vent sur la turbine en tête de mât d'une éolienne flottante.

Ce dernier Citeph, avec Principia comme partenaire, a permis le développement de la technique du "Software In the Loop" (SIL), il a donné une avance technologique à Océanide qui va être consolidée en 2023 et 2024 grâce au projet de recherche Beefore retenu par l'Ademe dans le cadre de l'appel à projets "TASE-PME".



10

LE "BASSIN DE GÉNIE OCÉANIQUE - SUD FRANCE" (BGO FIRST)

Le "Bassin de Génie Océanique - Sud France" mesure 40 mètres de long, 16 mètres de large avec une profondeur d'eau variable de 0 à 4,8 m de fond. Il est équipé d'un puits central de 10 m de profondeur et d'un plancher mobile qui permet une grande souplesse dans les opérations d'installation des modèles et de diversité d'études.

Océanide dispose sur place d'un atelier et d'un bureau d'étude de conception des modèles ce qui garantit une parfaite maîtrise des maquettes construites.

Depuis plus de 20 ans, le bassin d'essais reproduit à échelle réduite les effets de la houle, du courant et du vent sur les structures flottantes ou fixes. Sur cette période, plus de 250 campagnes d'essais ont été réalisées.



11

Avec ces programmes, Océanide est rentrée dans l'ère des flotteurs "hybrides" mi-physiques mi-numériques, ils permettent à Océanide de devenir une référence mondiale dans la simulation des efforts de vent en tête de mât des éoliennes flottantes marines. À chaque instant, le calcul numérique de l'effort instantané de vent intègre les mouvements mesurés sur le modèle physique, cet effort est appliqué en tête de mât via des mini-turbines et ainsi de suite

d'où cette notion de "loop" : on reçoit, on calcule, on envoie, on reçoit, on calcule, on envoie, ...

Dans le cadre de la recherche fondamentale que permet le "Bassin de Génie Océanique - Sud France", Océanide a réalisé en 2022 avec l'Université de Toulon le projet "Moroc'h 2" qui a permis de développer une technique pour contrôler en bassin le profil vertical du courant. « Aujourd'hui, indique Benjamin Bailly, les quelques bassins

10- Le "Bassin de Génie Océanique - Sud France" avec son musée de maquettes en premier plan.

11- Moroc'h : projet de R&D visant à développer une technologie permettant de maîtriser le profil vertical du courant.

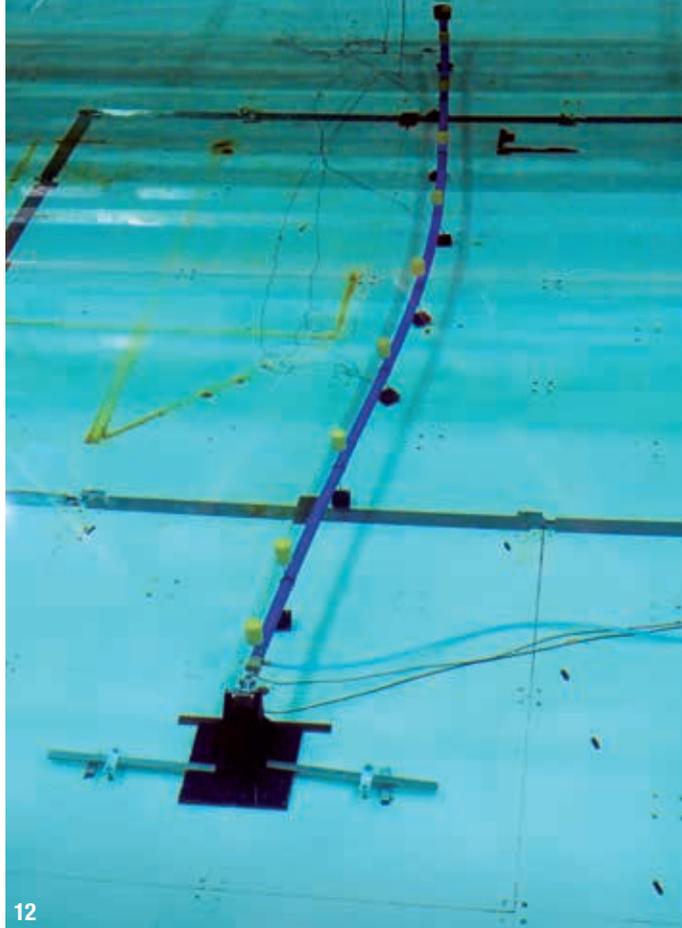
pouvant générer du courant délivrent un profil constant de vitesse sur toute leur colonne d'eau. Dans la réalité, le courant est variable en fonction de la profondeur, notamment en Méditerranée, où les courants sont largement influencés par le vent et plus fortement en surface. Les recherches visent à déterminer les positions et formes de profils perforés dans le bassin pour maîtriser les variations de courant entre la surface et le fond. »

12- EuroSWAC : essai sur une conduite de prise d'eau souple ayant un minimum d'impacts sur les fonds et de grande facilité d'installation.

13- À Bastia, étude 3D de la passerelle Aldionda fortement exposée à la houle.

14- Essais sur la solution de réhabilitation de la digue de protection du port du Frioul.

15- Essais sur des caissons " Jarlan " à doubles chambres pour sécuriser l'aire d'approche de l'héliport de Monaco.



12

© Océanide



13



14



15

© Océanide

EUROSWAC : CLIMATISATION À L'EAU DE MER

Dans le domaine de la recherche industrielle, Océanide est aussi directement impliquée dans le projet EuroSwac (Sea Water Air Conditioning) financé par l'Union Européenne dans le cadre du programme Interreg transmanche regroupant l'expertise complémentaire de 11 partenaires - Royaume Uni et France - issus des domaines académique et industriel.

EuroSwac vise à concevoir et à valider une solution innovante, rentable et respectueuse de l'environnement, en utilisant de l'eau de mer pompée comme réfrigérant dans les échangeurs thermiques de production d'air froid pour les bâtiments de bord de mer (hôpitaux, data center, aéroports, immeubles, ...) ou les procédés industriels. On exploite ainsi la différence de température entre l'eau froide de la mer et la température de l'air extérieur pour économiser une grande quantité d'électricité.

Le système Swac peut aussi soutenir la réduction de l'énergie nécessaire à l'aquaculture terrestre par exemple lorsqu'il est nécessaire de refroidir l'eau des bassins.

À son terme, EuroSwac a démontré, en adaptant une technologie existante utilisée dans les zones tropicales, la capacité et le gain à utiliser l'eau de mer de la Manche pour un refroidissement plus naturel en zone de climat tempéré.

« Océanide est engagée principale-

ment dans les essais physiques sur le nouveau concept de "flexible pipe" alimentant le Swac en eau froide, précise Benjamin Bailly. Ce "flexible pipe" est une conduite souple dotée d'une légère flottabilité positive fixée aux fonds marins par des ancrages écologiques espacés. Elle sera facile à installer par simple déroulement et moins agressive vis-à-vis de l'environnement marin puisque qu'elle ne sera pas posée sur les fonds comme cela se pratique habituellement pour les prises d'eau. La société a réalisé des essais avec des vagues et courants dans toutes les directions pour caler les modèles numériques développés par Doris Group et confirmer qu'ils sont bien aptes à reproduire le comportement de cette conduite. Nous pensons en particulier que cette technologie est très bien adaptée à la Méditerranée car le littoral y est assez urbanisé et que les différences de température de l'eau, à peu près constante toute l'année sous -20, et de l'air en surface y sont plus importantes que dans la Manche. »

Les applications réelles des projets de Swac intéressent particulièrement Océanide car ils assurent typiquement le lien entre l'océanique et le côtier. Sur ce type de projets, Océanide pourra se positionner comme prestataire pour conduire les études d'hydraulique maritime des sites (modélisation des courants, de la température et des vagues), les études hydrodynamiques pour le dimensionnement des ancrages et, pour les cas compliqués, les essais en bassin océanique.

GÉNIE CÔTIER : PARTENAIRE NATUREL DE L'ENSEMBLE DES ACTEURS DU SECTEUR

Dans ce domaine, Océanide est connue pour le sérieux de ses études d'ingénierie maritime et pour les essais en modèle physique.

Elle dispose de deux moyens d'essais (voir encadrés), une cuve à houle (3D) et un canal à houle (2D) et avec plus de 120 campagnes réalisées à ce jour, Océanide est un des acteurs français majeurs de la modélisation physique des structures et phénomènes littoraux. « Les clients d'Océanide sont très variés et, ce qui est extrêmement plaisant, ajoute Benjamin Bailly, est que nous travaillons avec toute la communauté française liée aux projets maritimes, nous sommes les partenaires de tout le monde. »

En effet, du fait de sa réactivité, de son positionnement et de ses moyens d'essais, Océanide travaille avec :

- Tous les bureaux d'études français tels que Egis Group, Ingerop, Setec, BRLi, SCE, Doris Group... ;
- La plupart des entreprises françaises de construction (le plus souvent pour des modélisations physiques 2D) ;
- Les industriels qui ont besoin de protéger leurs installations côtières ou de réhabiliter leurs ouvrages ;
- Les collectivités locales de la Région Sud et les autorités portuaires pour leurs projets de développement ou de protection contre la mer et les submersions marines.

Pour ses clients privés, Océanide se positionne donc comme un "marine engineer" soit pour de la modélisation physique, soit pour des études spécifiques d'hydraulique maritime et d'hydrodynamique.

La société travaille par exemple actuellement avec le bureau d'étude allemand Sbp, spécialisé dans le Génie Civil d'ouvrages complexes et élancés, qui intervient aussi ponctuellement dans le domaine maritime sur des ouvrages très techniques.

DIVERSITÉ DU GÉNIE CÔTIER

Océanide a signé trois contrats avec Sbp dont l'un concernait la passerelle Aldilonda longeant la citadelle de Bastia, en Corse, à 5 mètres au-dessus de l'eau dans un site exposé aux vagues extrêmes produisant deux effets qu'il convenait de parfaitement quantifier : l'effort d'impact des vagues en sous-face du cheminement lorsque celui-ci est en porte-à-faux et le volume d'eau franchissant de la vague passant sur la passerelle. Océanide a été sollicitée pour détermination des conditions de dimensionnement et la réalisation de modélisations physiques 2D et 3D.

Pour le modèle 3D, l'affleurement rocheux et le mur de la forteresse ont été fidèlement reproduits pour montrer les effets très localisés de jet d'eau en utilisant une méthode spécifique basée sur la découpe au laser d'un bloc de polystyrène compacté.

Un autre contrat a permis d'accompagner Sbp dans un projet de création d'une marina, dans le Golfe d'Aqaba, protégée par une digue flottante.

Le savoir d'Océanide sur les ouvrages transmissibles a pu être exploité et remis à jour.

D'autres opérations ont déjà été réalisées ou sont en cours en matière d'aménagement côtier, parmi lesquelles :

- Pour Egis Group, Océanide a réalisé en 2023 les essais 2D et 3D des

LA CUVE À HOULE DE GÉNIE CÔTIER (3D)

La cuve d'Océanide est un bassin de faible profondeur destiné aux essais sur modèle physique d'ouvrages côtiers. Ces essais permettent d'établir la stabilité des ouvrages dans un environnement marin maîtrisé et de déterminer les efforts hydrodynamiques, les performances en termes de protection, de franchissement, de réflexion et de transmission de la houle. L'effet des ouvrages sur les fonds sableux peut être établi de façon tendancielle.

D'une longueur de 27 m, elle a une largeur de 12 m et une profondeur de 0 à 1 m.



16

© Océanide

travaux envisagés sur les digues de protection du port du Frioul à Marseille et du Vieux Port de Cannes ;

- Pour Poralu, Océanide assure l'ingénierie de l'ancrage d'une ferme solaire flottante sur le lac de Toulous en Suisse ;

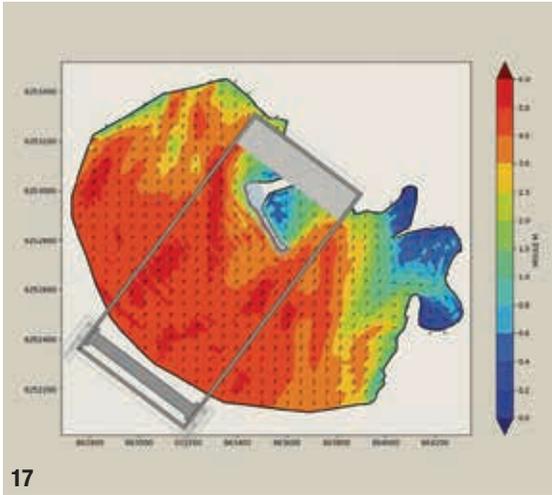
16- Vue du canal 2D d'Océanide prise pendant les essais de définition de la Digue de La Chatière au GPMH.

LE CANAL À HOULE (2D)

Le canal à houle d'Océanide constitue une installation destinée aux essais sur modèle physique d'ouvrages côtiers. Ces essais ont des objectifs similaires à ceux réalisés en cuve. Ils sont souvent suivis d'une campagne d'essais en cuve à houle lorsqu'il y a à prendre en compte des effets tridimensionnels (3D).

D'une longueur de 24 m, il a une largeur de 1 m et une profondeur d'eau de 0 à 1,50 m.

- Pour Bouygues Construction, notamment dans le cadre du projet Mareterra d'Urbanisation En Mer (UEM) de l'Anse du Portier à Monaco, Océanide a réalisé des essais 2D sur de nombreuses sections de caissons "Jarlan" ayant pour objectif de quantifier les franchissements et mesurer les efforts ;
- Pour EDF, Océanide a réalisé l'ensemble des études depuis le diagnostic jusqu'au spécification des travaux (dont les essais 2D et 3D) pour la réhabilitation des digues de protection de la centrale thermique de Martigues (une solution utilisant des Accropode II™ a été développée) ;
- Lors des études d'exécution de la réalisation des champs éoliens offshore au large de Saint-Nazaire, en Loire Atlantique et de Ouistreham, dans le Calvados, Océanide a fait les calculs de stabilité des conduites PEHD (fourreau des câbles électriques de raccordement) et de leurs dispositifs de protection au niveau de la zone d'atterrissage pour Eiffage ;
- Eiffage Génie Civil et Maritime a également confié cette année dans le cadre des études d'exécution pour les travaux du port de pêche de Pointe Noire l'ensemble des études d'hydraulique maritime de site ;
- SBTPC/Sogea (Groupe Vinci Construction) a gagné le contrat des travaux de réalisation du cavalier de protection de l'Aéroport Réunion Roland Garros (ARRG) en proposant une variante sur le bloc artificiel de carapace en X-BLOC+ qui a été validée et optimisée lors des études d'exécution par les essais 2D réalisés par Océanide. À l'occasion de ces essais une évolution du bloc, le Xwing-BLOC+ avec pour fonction de limiter les franchissements par augmentation de la rugosité du talus, a été construite par l'atelier d'Océanide ;
- Océanide, travaille aussi régulièrement en sous-traitance d'Ingerop, elle a récemment participé en tant que "marine engineer" aux études de maîtrise d'œuvre pour l'aménagement de la marina Olympique du Roucas Blanc à Marseille et pour la requalification des pontons de la plage de La Croisette à Cannes durant laquelle un modèle physique sédimentologique a notamment été mis en place ;
- Pour Doris, dans le cadre des études de projet détaillé du nouveau poste pétrolier du port de Fronti-



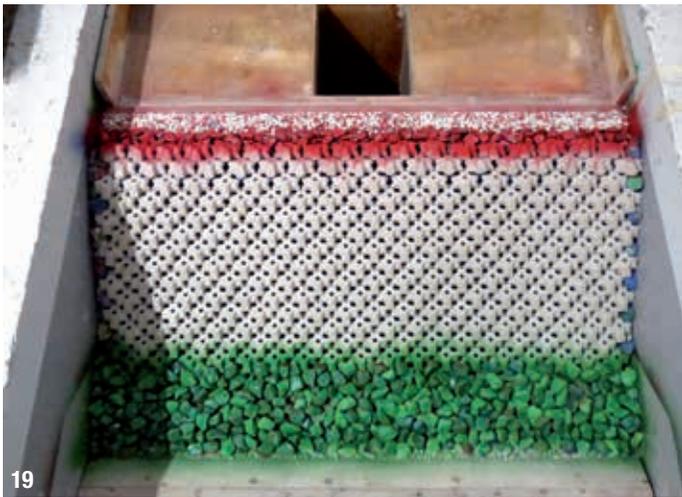
17

© OCÉANIDE



18

© OCÉANIDE



19

© OCÉANIDE

17- Réhabilitation des digues de protection de la centrale thermique de Martigues.

18- Centrale thermique de Martigues : essais sur la solution de réhabilitation développée pour les digues utilisant en haut de massif de station de pompage des Accropode II™.

19- Cavalier de protection de l'aéroport de La Réunion : essais 2D sur la solution XBloc® retenue pour les travaux.

20 & 21- Étude d'agitation Aquarius : définition de l'indisponibilité liée à l'agitation au nouveau terminal d'importation pour le dépôt d'hydrocarbures GDH à Sète-Frontignan.

Les exemples pourraient être multipliés : ceux qui viennent d'être évoqués sont parmi les plus récents et les plus représentatifs.

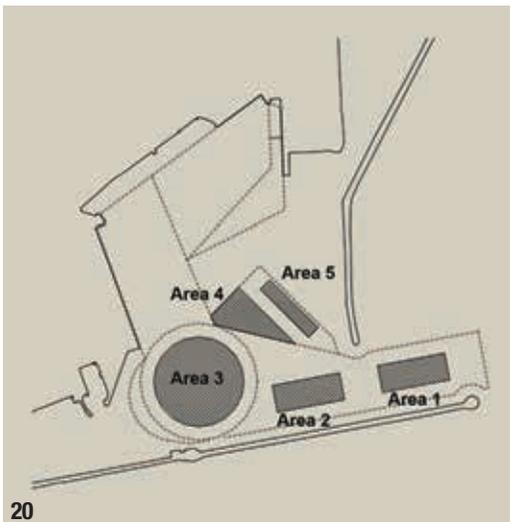
La Principauté de Monaco a confié à Océanide la réalisation d'une étude de prospective pour la protection de son littoral consistant à identifier les risques liés au changement climatique puis à définir des solutions à moyen et à long termes.

Ces études ont conduit à étudier des solutions long terme de protection par des fonds de 70 m de type caissons perforés posés sur des structures fixes transparentes à la houle. Pour ces caissons, les performances hydrauliques et efforts liés à la houle ont été déterminés analytiquement puis, par modélisation physique 2D, il a également été étudié quel pouvait être le comportement de ces ouvrages en cas de tsunamis provoqués par un séisme au large de l'Algérie ou en Mer Ligure. Cette étude du comportement au tsunami a mis en œuvre une méthodologie robuste et innovante ▷

gnan sur un concept de poste de déchargement en mer, Océanide a réalisé les études hydrauliques mais également les études de clair sous quille pour optimiser les profondeurs du chenal d'accès, de dragage et d'amarrage dynamique

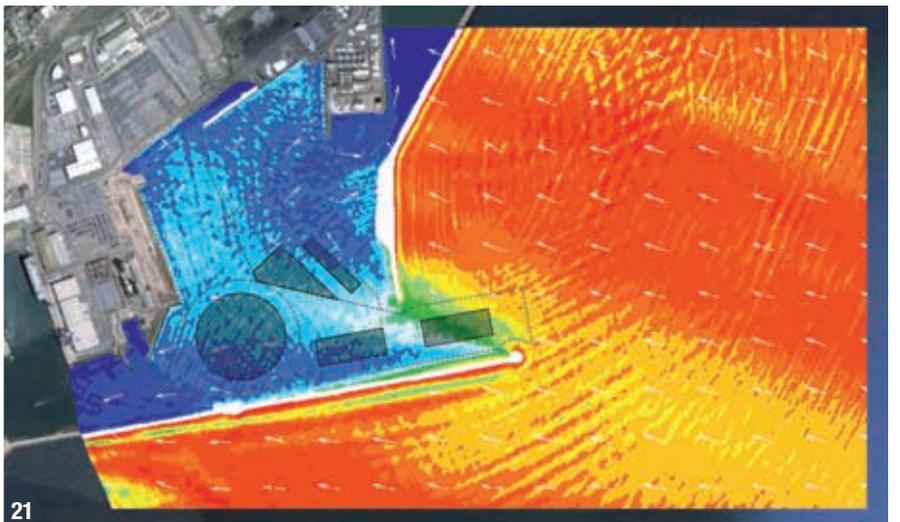
des navires à poste, les études de navigation ont été également prises en charge par Océanide ;

→ Pour Port Fréjus, Océanide a assuré les études hydrauliques de développement du plan de masse et de faisabilité des ouvrages maritimes.



20

© OCÉANIDE



21

© OCÉANIDE



22

© Océanide/Clément Oudin

par modélisation numérique CFD calibrée au préalable par des essais en modèle physique en houle régulière. Il s'est avéré que cette phase de calibration est indispensable s'il est souhaité obtenir des résultats de CFD acceptables avec une précision d'environ 5% sur l'estimation des efforts subis.

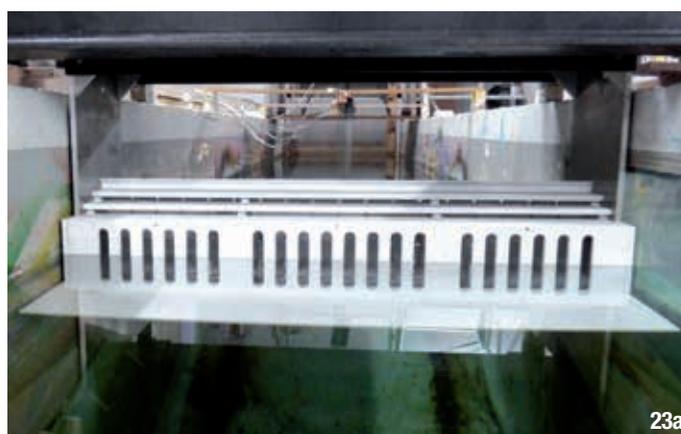
LA CONFIDENTIALITÉ : UN ENJEU MAJEUR POUR OcéANIDE

« Dans le domaine océanique et du génie côtier, lorsque nous testons les solutions de constructeurs en phase de préparation des offres travaux, Océanide se situe régulièrement en amont des projets et signe des accords de confidentialité avec ses partenaires. Notre laboratoire, poursuit Benjamin Bailly, voit passer des concepts industriels d'avant-garde et il est hors de question que ces concepts soient divulgués à l'extérieur. Je veille personnellement à ce la confidentialité soit scrupuleusement respectée. Toute visite de nos installations est soumise à autorisation préalable de nos clients. »

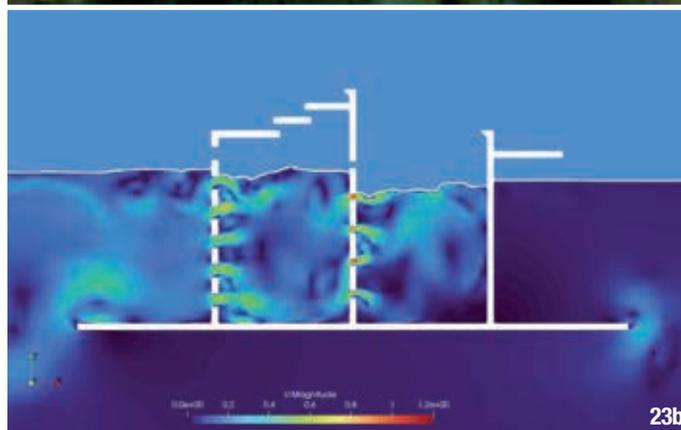
UN PLAN DE DÉVELOPPEMENT 2024-2035

Cette PME de 18 salariés et de 2 M€ de chiffre d'affaires a de belles ambitions pour le développement du Technopole de la Mer de la Métropole de Toulon et pour la consolidation du port de Brégaillon comme premier port scientifique d'Europe.

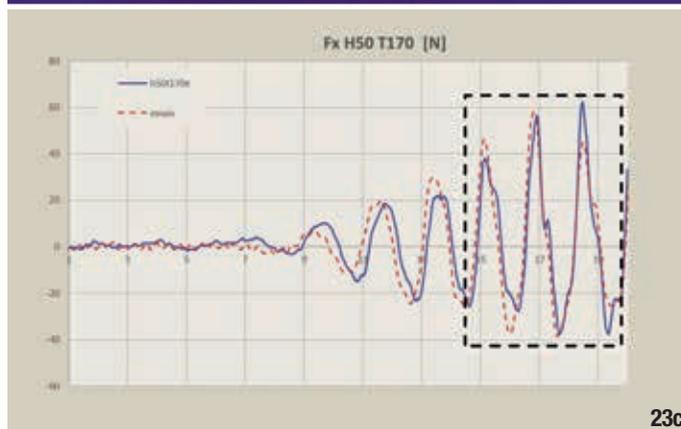
« Avec la combinaison de moyens d'essais unique en Europe et la double expertise océanique/côtier que l'on trouve en Région Sud et notamment sur le territoire de la Métropole de Toulon, il est possible de créer un véritable pôle européen d'innovation de la transition



23a



23b



23c

© Océanide

22- Vue du projet de développement de l'avant-port de Port Fréjus à l'horizon 2030.

23- Étude des efforts et des performances d'un ouvrage de type "mur d'eau" soumis à un tsunami par modélisation CFD calée sur des essais en modèle physique.

« énergétique, de la résilience du littoral et de la protection des populations côtières contre la submersion marine. »

Le "Bassin de Génie Océanique - Sud France" est un outil exceptionnel et d'avenir, il permet de parfaitement tester les innovations dans le domaine de la transition énergétique.

Les moyens d'essais existants de génie côtier sont, en revanche, trop modestes pour répondre aux enjeux liés à résilience du littoral et à la submersion marine dans un contexte de changement climatique. Et pourtant, il existe, prête à se mobiliser, une expertise sur le territoire notamment du fait de la construction historique du savoir-faire d'Océanide dans ce domaine et des instituts et laboratoires régionaux.

« Pour transformer cette ambition en une réalité, précise Benjamin Bailly, il est nécessaire de bâtir et exploiter en Région Sud de nouveaux moyens d'essais côtiers innovants et développer une offre de modélisation numérique permettant de devenir référent technique pour l'étude des événements climatiques extrêmes à la côte. »



© BBC ARCHITECTES

24

Le projet est donc de compléter les moyens d'essais côtiers avec de nouveaux moyens en 2D et 3D innovants intégrant des fonctionnalités qui n'existent pas même dans les grands laboratoires européens. Cet objectif est possible puisque le projet de recherche Poseidon Expe financé par la BPI France, la Région Sud et la Métropole de Toulon et achevé en 2021 a permis de lever tous les verrous technologiques pour construire un bassin qui pourrait évidemment reconstituer la houle mais

24- Le projet d'implantation du "Canal de Génie Côtier - Sud France" à proximité immédiate du "Bassin de Génie Océanique - Sud France".
25- L'équipe d'Océanide pendant l'été 2022.

aussi les courants littoraux, les ondes de type tsunami et les ondes de tempête de façon maîtrisée. La première phase du développement serait le "Canal de Génie Côtier -Sud France" (houle, ondes de tsunami et de tempête) de 50 m de longueur. Il permettrait à la Région Sud de disposer d'un démonstrateur pour la phase suivante et d'un outil unique, disposant de son propre modèle économique, pour l'étude de la résilience du littoral, des risques de submersion marine en

cas notamment de tsunamis, de la protection des populations mais aussi pour les études plus classiques de conception d'ouvrages maritimes. En seconde phase, cela pourrait aboutir à la construction du "Bassin de Génie Côtier - Sud France" unique au monde de 40 m x 40 m dont un modèle, au 1/10^e, qui a donné satisfaction, existe dans les locaux d'Océanide. □

1- CITEPH est un programme d'open innovation qui facilite l'accès à des financements privés pour des projets innovants.



25

© OCÉANIDE



RENFORCEMENT DU QUAI JOANNÈS-COUVERT AU PORT DU HAVRE POUR L'ACCUEIL DE L'ÉOLIEN OFFSHORE

AUTEURS : GUILLAUME DUMONTET, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - BERTRAND HAENTJENS, DIRECTEUR, ETMF - CYRIL BOSSARD, DIRECTEUR TRAVAUX, ETPO - VLAD DRAGOS SANDU, RESPONSABLE D'AFFAIRES, BIEP EIFFAGE - MATHILDE BRUN, RESPONSABLE CELLULE OUVRAGES PORTUAIRES, TERRASOL

DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DES ACTIVITÉS LIÉES À L'ÉOLIEN OFFSHORE EN FRANCE, DES AMÉNAGEMENTS DES OUVRAGES PORTUAIRES ÉTAIENT NÉCESSAIRES DANS LE PORT DU HAVRE. HAROPA PORT A ATTRIBUÉ LES TRAVAUX DE RENFORCEMENT MARITIMES ET TERRESTRES DU QUAI JOANNÈS-COUVERT À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES, COMPOSÉ D'EIFFAGE GÉNIE CIVIL (MANDATAIRE), ETPO, ETMF, NGE FONDATIONS ET SDI. TOUT AU LONG DU PROJET DE CONCEPTION ET DES ÉTUDES D'EXÉCUTION, HAROPA PORT S'EST ÉGALEMENT ENTOURÉ D'UN AMO TECHNIQUE, SETEC (FILIALES TERRASOL ET TPI).

LE CONTEXTE DE L'OPÉRATION : UN DÉFI LOGISTIQUE ET D'ORGANISATION

Le quai Joannès-Couvert se situe côté bassin à marée. Il est de type mur poids à redans et a été construit entre 1905 et 1920. Ses dimensions principales sont de 14 m d'épaisseur à la base et de 25,5 m de hauteur. Il s'encastre sur 4 m de hauteur dans le terrain naturel. Il est composé d'une maçonnerie de moellons siliceux-calcaires, hourdés à la chaux, parementée de granite de Cherbourg, et construit selon la méthode des caissons havés sous air comprimé, fondés sur des sables mêlés de galets surmontant directement l'Argile de Villerville. À l'arrière du mur, des remblais constituent la plateforme portuaire.

L'explosion de dépôts de torpilles pendant la deuxième guerre mondiale a endommagé cet ouvrage avec la destruction partielle des maçonneries. Après la guerre, le quai est reconstruit en conservant le profil extérieur mais avec diverses solutions de réparation (figure 4).

Ainsi, le quai existant se trouve dans un état plus ou moins altéré, et offre la capacité de soutenir une surcharge d'exploitation maximale de 4 t/m².

La manutention de composants d'éoliennes de dimensions et poids excep-



1- Aire de préfabrication et stockage des masques et des poutres.

2- Localisation du quai Joannès-Couvert, ainsi que des nouveaux quais "Jack-up" et "Lo-Lo", dans le port du Havre.

1- Shield and beam precasting and storage area.

2- Location of the Joannès-Couvert quay, together with the new Jack-up and Lo-Lo quays, in Le Havre port.

tionnels (près de 100 m de long pour des pales et 800 t pour les colis lourds) impose la réalisation de travaux d'adaptation de ce quai existant, pour porter sa capacité à 30 t/m² (figure 5).

Haropa Port a ainsi engagé les travaux de renforcement qui consistent en la réalisation de deux postes à quai via :

→ Un quai de 200 m dit "Jack-up" dédié principalement à 2 fonctions :
- Reprendre le stockage des charges lourdes en bord à quai

en attendant leur chargement sur les navires-plateformes de type "Jack-up". Ces navires se soulèvent au-dessus de l'eau sur plusieurs pieds appelés "spudcans" (figure 7), les transformant en plateforme offshore posée sur le fond. Ceci permet une bonne assise de stabilité pendant les manœuvres de la grue de bord manipulant les charges lourdes ou encombrantes ;



3

© ETMF & ETPO

3- Vue d'ensemble du chantier et des moyens nautiques mis en œuvre.

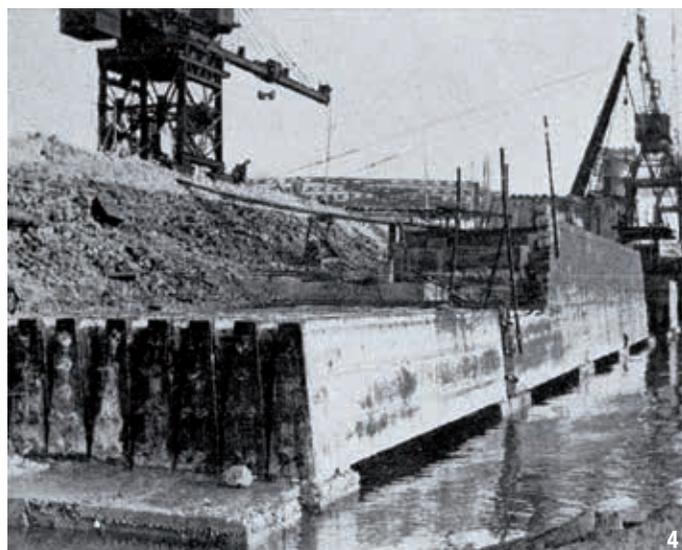
4- Quai Joannès-Couvert - Reconstruction, linteaux en poutres préfabriquées en béton précontraint de 15 t.

5- Navire "Jack-up" en cours d'opération.

3- General view of the site and the nautical equipment employed.

4- Joannès-Couvert quay - Reconstruction, lintels of 15-tonne prestressed-concrete precast beams.

5- Jack-up vessel in operation.

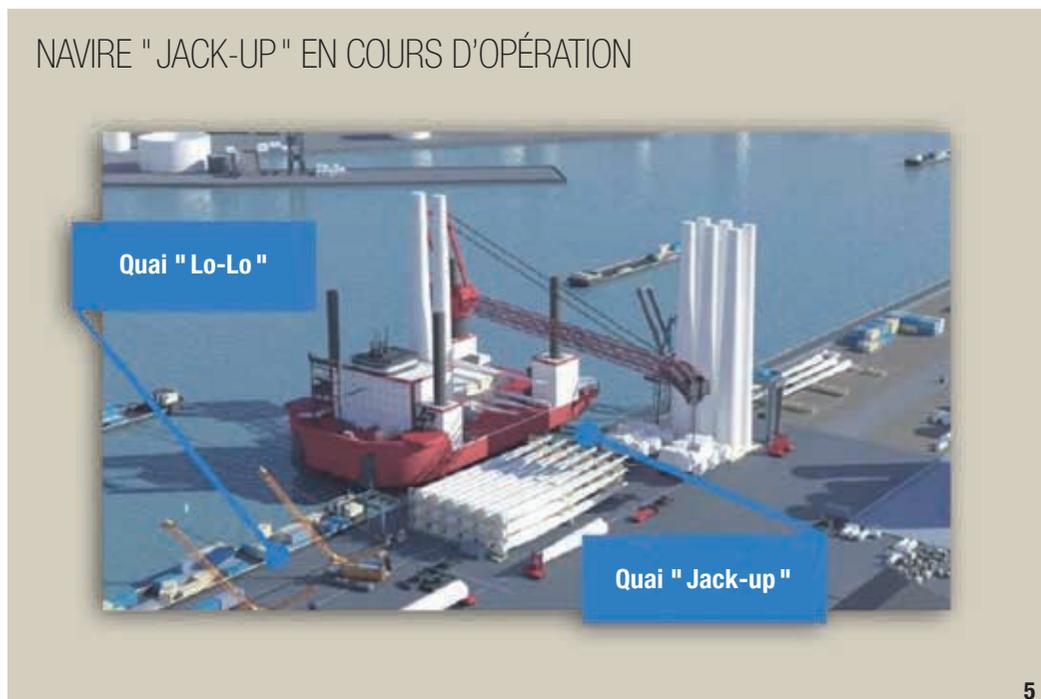


4

pour 6 tours ou 10500 t sur 8,4x40 m² pour 8 tours ;
→ Un quai de 200 m dit "Lo-Lo". Celui-ci doit reprendre des charges lourdes mais moins importantes que le quai "Jack-up", avec l'accueil des navires d'import/export ainsi que l'acheminement et le stockage des différents composants d'éoliennes en vue de leur chargement sur navire par des grues terrestres. Le quai est dimensionné par rapport à la grue mobile suivante ;
→ La charge de la grue circulant sur les quais "Jack-up" et "Lo-Lo" est d'environ 2100 t, elle constitue la charge d'exploitation mobile et elle est accompagnée de charges uniformes de 11 t/m².

- Supporter les charges liées aux opérations de pré-assemblage des sections de mâts d'éoliennes par grues terrestres ainsi que le stockage des mâts à la verticale par paquets unitaires (4, 6 ou 8 tours complètes), comme l'illustre la figure 5, ou par des ensembles de 10 ou 12 tours complètes avant chargement par grue de bord de navires "Jack-up". À noter que les charges d'exploitation dues aux tours vont jusqu'à 30 t/m², et que les paquets de 4, 6 ou 8 tours correspondent respectivement aux charges localisées de 6200 t sur une emprise au sol de 14,5x14,5 m² pour 4 tours, 7857 t sur 8,9x30 m²

NAVIRE " JACK-UP " EN COURS D'OPÉRATION



5

© SIEMENS GAMESA

Contrairement aux autres structures d'accueil de composants éoliens déjà construites dans les ports français, Siemens Gamesa avait comme besoin que ces deux quais soient capables de reprendre des charges d'exploitation uniformément réparties ou des charges lourdes dont la position n'est pas fixée, et des charges mobiles de grues (figure 6).

De la conception aux études d'exécution, ce point majeur a été pris en compte dans les dimensionnements.

6- Quai Joannès-Couvert - quai "Jack-up" - Variante réalisée.

7- Les navires "Jack-up".

6- Joannès-Couvert quay - Jack-up quay - Variant produced.

7- Jack-up vessels.

LA SOLUTION FINALEMENT RÉALISÉE : UN DÉFI TECHNIQUE, DES ÉTUDES ÉVOLUTIVES

Lors des études AVP, PRO et DCE d'une durée restreinte d'un an, la collaboration entre l'AMO et Haropa - Direction Territoriale du Havre a permis, par de multiples allers-retours, de faire évoluer la structure envisagée vers une solution saine prenant en compte l'ensemble des chargements (charges d'exploitation, "spudcans", efforts parasites, ...)

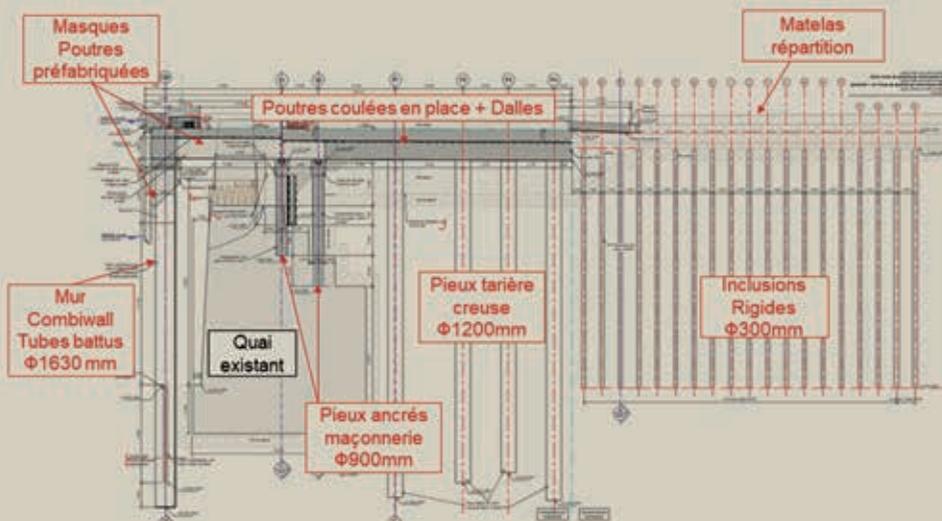
auxquels la structure est soumise et aux besoins évolutifs de l'industriel Siemens Gamesa.

L'interaction sol-structure, à travers un calcul paramétrique avec ou sans prise en compte des effets de groupe et des sols profonds et le caractère court ou long terme des chargements, a notamment permis de prendre en compte le contraste de rigidité entre le mur et les files de pieux (maritimes et terrestres). Celle-ci a conduit à différentes évolutions de la structure :

- Le besoin de création d'un deuxième appui sur le mur permettant de réduire la portée entre les files de pieux et les appuis sur le mur. Cela a permis de limiter les moments et les efforts horizontaux ainsi que les sollicitations dans la structure ;
- La nécessité de créer une rotule dans la dalle au droit du premier appui sur le mur, pour supprimer les efforts dus au tassement des pieux maritimes sous l'effet des spudcans dans la partie avant du quai. La dalle est séparée en deux, et seule la partie basse des nervures est continue constituant une articulation libérant les moments de flexion.

Durant l'appel d'offre, le groupement a ensuite pu proposer une variante prévoyant l'optimisation des quantités utilisées de béton et la diminution du nombre de files de pieux arrière. ▷

QUAI JOANNÈS-COUVERT - QUAI "JACK-UP" - VARIANTE RÉALISÉE



6

LES NAVIRES "JACK-UP"

Pacific Orca

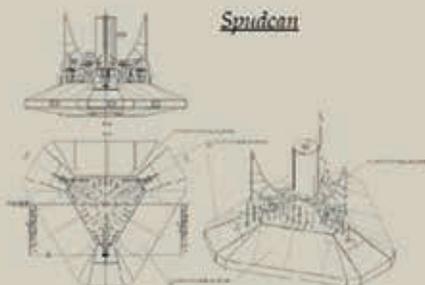


Innovation

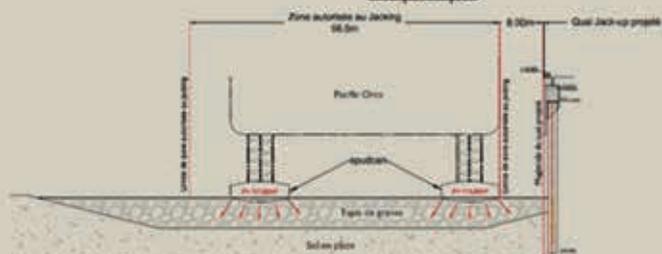


Navire	Pacific Orca	Innovation
Nombre de pied	6	4
Préchargement max. par pied	10 650t	18 180t
Surface d'un spudcan	95,4 m ²	245 m ²
Diamètre équivalent	11 m	17,66 m
Pression appliquée par pied	111,6 t/m ²	74,2 t/m ²

Spudcan



Coupe tapis



7

8- Maquette 3D sur Revit.

9- Démolition de la partie supérieure du quai existant.

10- Modélisation 3D de l'armature.

8- 3D model on Revit.

9- Demolition of the upper part of the existing quay.

10- 3D modelling of reinforcement.

De même, les inclusions à l'arrière du quai devaient initialement comporter des pieux de diamètre 1200 mm avec une maille de 3,40 m x 3,40 m ; ils sont finalement passés à un diamètre de 300 mm en 1,50 m x 1,50 m (figure 6).

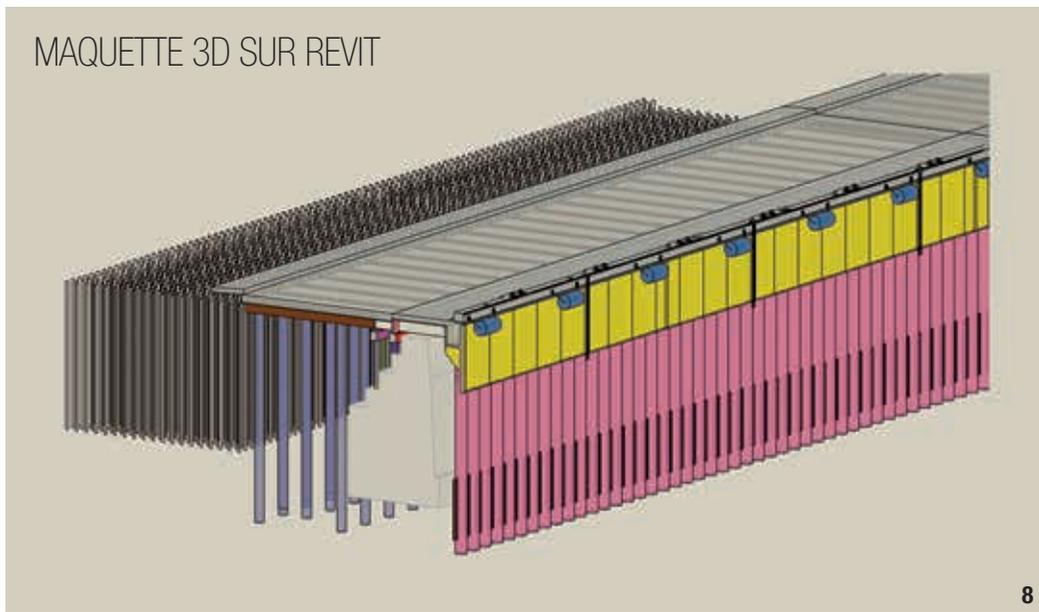
Concrètement, la partie supérieure du quai existant est écrêtée sur 4 m de haut. Une dalle en béton armé prend appui sur des pieux métalliques et sur la partie inférieure de l'ouvrage actuel afin de le renforcer. Ainsi, le renforcement du quai Joannès-Couvert (figure 8) se décompose comme suit :

→ Fondations - partie maritime : le front d'accostage de type combiwall avec des tubes de diamètre 1630 mm et 24 mm d'épaisseur et des palplanches intermédiaires PU18. Les tubes présentent un bouchon béton en tête qui permet de les encastrer dans les poutres transversales. Une poutre de couronnement longitudinale de 2,00x2,80 m de hauteur surmonte les pieux métalliques et sert de cheville pour les poutres transversales. Des masques préfabriqués sont prévus devant le combiwall pour constituer le front d'accostage. Ils servent également de coffrage pour le couronnement ;

→ Fondations - partie terrestre :

- Deux voiles d'appui au droit des murs poids existant. Le premier (V1) est constitué de pieux forés tubés de diamètre 900 mm, espacement 1,445 m avec une paroi de pieux tarière creuse à l'arrière dans les secteurs où le mur existant a été le plus endommagé pendant la seconde guerre mondiale. Cette paroi permet d'éviter la perte de fines du remblai terrestre vers le bassin à marée. Le deuxième (V2) est constitué des triplettes des pieux

MAQUETTE 3D SUR REVIT



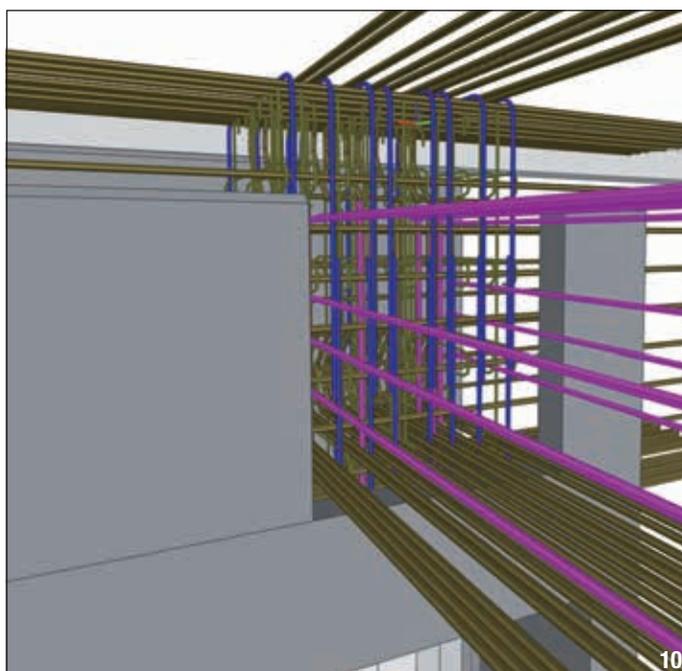
8

© ETMF & ETPO



9

© ETMF & ETPO



10

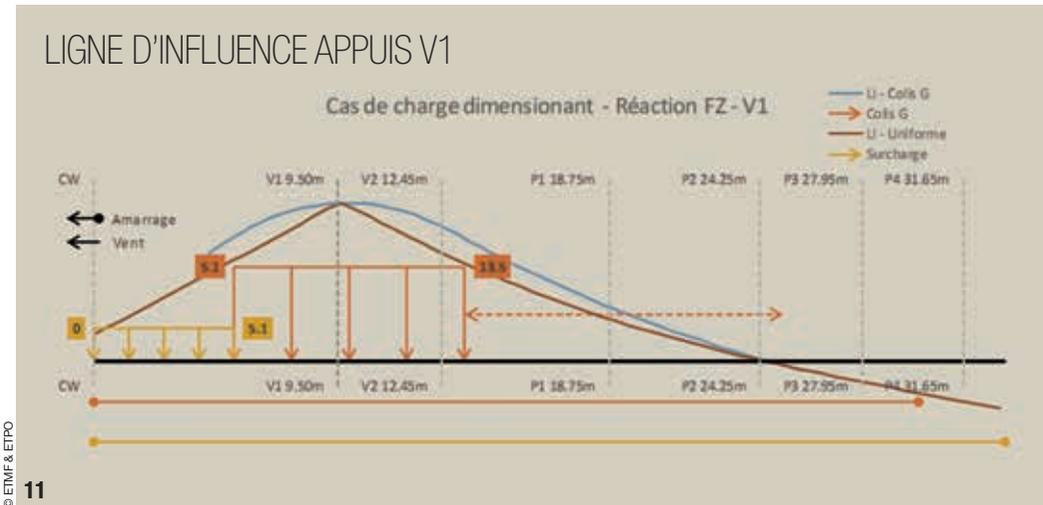
© ETMF & ETPO

(3 Ø 900 mm) espacée tous les 5,78 m. Les pieux reposent sur la maçonnerie existante au droit des redans à l'arrière du mur poids ;

- Trois, respectivement quatre files des pieux forés à la tarière creuse de diamètre 1220 mm, de 19,2 m à 28 m de longueur ;

→ Tablier - zone avant : la partie comprise entre la magistrale (le front d'accostage) et le voile V1 a une portée de 9,5 m afin de ponter le mur existant et une hauteur de 2,50 m. Une dalle coulée en place de 0,68 m d'épaisseur (sur des pré-dalles non-collaborantes de 12 cm d'épaisseur) repose sur des poutres dont la nervure préfabriquée a une section de 1,50x1,70 m (b x h) espacées de 2,89 m. Une rotule est introduite dans l'axe du voile V1 au niveau des poutres afin de limiter

LIGNE D'INFLUENCE APPUIS V1



l'impact de la partie maritime sur la partie terrestre (figure 9). La rotule consiste en une section rétrécie de béton de largeur 1,50 m et une hauteur de 0,50 m en partie inférieure de la nervure ;

→ Tablier - zone arrière : la partie comprise entre le voile V1 et la dalle de transition à 5 travées de 2,95 m – 6,30 m – 5,50 m – 3,70 m – 3,70 m. La dalle coulée en place fait 1,00 m d'épaisseur et repose sur des poutres de retombée 1,50x1,50 m (bxh) espacées de 5,78 m.

La réalisation de ces deux quais intègre également des travaux de renfort des fonds marins du bassin Théophile Ducrocq. Devant le quai, les vases ont été purgées et un tapis de grave a été réalisé pour renforcer les sols de la zone d'appui du navire "Jack-up" (figure 7).

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION : DES MOMENTS D'ÉCHANGES INTENSES LES MODÉLISATIONS

Durant les études d'exécution, l'ensemble du quai a été modélisé à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis. Une étude de sensibilité a permis de confirmer l'utilisation unique des éléments filaires suite à la comparaison des quatre modèles pour le tablier : ▷





14

© ETMF & ETPO

dalle modélisée en utilisant des éléments de type coques, ou dalle modélisée en un grillage des poutres. L'excentrement des poutres par rapport au feuillet moyen de la dalle a été pris en compte.

De plus, la rotule au droit de la file V1 est introduite par des relâchements pour les poutres, respectivement une désolidarisation des panneaux au niveau de la dalle.

Comme durant les études de conception, l'interaction sol-structure est prise en compte via des appuis élastiques (ressorts), dont la raideur varie en fonction de plusieurs facteurs :

- Durée d'application de charge (long terme ou court terme) ;
- Prise en compte des effets de groupe (K_{max} - raideur isolée, respectivement K_{min} - effet d'entraînement).

Plusieurs itérations entre le bureau d'étude structure Biep et le bureau d'étude géotechnique Fugro/Ginger ont été menées pour obtenir la convergence descente de charge/raideurs. Une analyse "en fourchette" a été menée afin de récupérer les valeurs de descente de charge enveloppe. Quatre modèles de calculs ont été faits : court-terme K_{min} , court-terme K_{max} , long-terme K_{min} et long-terme K_{max} .

Dans le but de maximiser les sollicitations, une comparaison entre différentes configurations de chargement a permis d'arrêter les cas de chargement enveloppe. La position des différents colis ou grues a été déterminé à l'aide des lignes d'influences (figure 11). En parallèle, l'AMO technique avait en charge un visa renforcé, et a ainsi pu mener 2 contre-calculs complets pour

14- Aire de préfabrication et stockage des masques et des poutres.

15- Mise en place des masques d'accostage sur file maritime.

16- Mise en place des poutres préfabriquées.

14- Shield and beam precasting and storage area.

15- Placing mooring shields on row of sea-side piles.

16- Positioning precast beams.

valider les études d'exécution du groupement. Des échanges intenses ont alors été menés pour comprendre les différences et aboutir à une convergence des résultats. Les écarts principaux venaient de la diffusion et la position des charges, la prise en compte des effets thermiques ainsi que des hypothèses de fissuration des têtes de pieux. Lorsque des différences sont demeurées in fine, Haropa Port a fait le choix de retenir l'enveloppe des 2 résultats pour le ferrailage des éléments en béton armé, garantissant ainsi un ouvrage robuste à son client Siemens Gamesa.

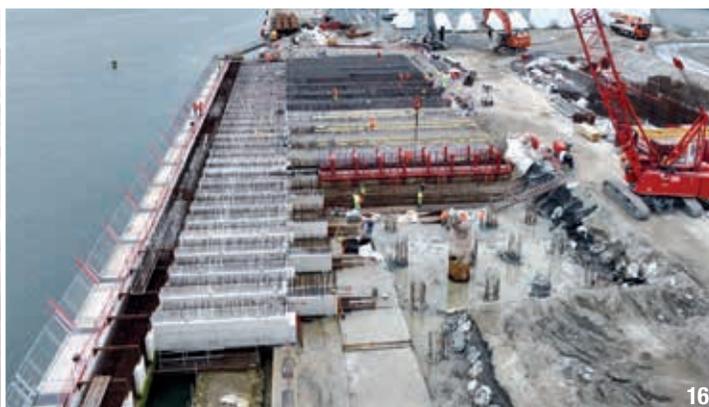
TRAITEMENT DES NŒUDS DE FERRAILAGE

Étant donné la complexité du ferrailage, une modélisation 3D de l'armature a été faite afin d'écartier les potentielles



15

© ETMF & ETPO



16

© ETMF & ETPO



© ETMF & ETPO
17

conflits et d'optimiser la mise en place des barres (figure 10).

Certaines dispositions constructives ont été prises en compte, pour faciliter les nœuds de ferrailage.

Les aciers longitudinaux inférieurs centraux des poutres principales ont une longueur réduite pour que chaque barre ne croise les attentes verticales que d'un seul pieu afin d'obtenir une latitude de position.

Le ferrailage inférieur des poutres est constitué en chaînage de manière à ce que les barres se recouvrent les unes avec les autres.

17- Poutres coulées en place support du hourdis supérieur.

18- Vue aérienne de l'ensemble des quais "Jack-up" et "Lo-Lo".

17- Cast-in-situ beams supporting the top slab.

18- Aerial view of all the Jack-up and Lo-Lo quays.

LES TRAVAUX : UN PROJET D'AMPLEUR COMBINANT TRAVAUX DE FONDATIONS, DE GÉNIE CIVIL ET DE DÉMOLITION

Durant la préparation du chantier et en parallèle des études d'exécution, une phase d'essais sur les pieux battus avait été prescrite au CCTP. En effet, le diamètre important ainsi que le faible encastrement mettaient en doute la mobilisation de la pointe sur sa section totale. Au regard de son expérience, le groupement a ajouté des diaphragmes pour augmenter la capacité portante en

mobilisant une résistance en pointe plus importante. Ainsi, dans le cas où le pieu aurait un comportement ouvert, l'ajout d'un diaphragme force le pieu à avoir un comportement fermé (bouché) en dynamique, mais également en statique. Le groupement a mené 4 essais de battage en bassin de marée, ainsi que 2 essais statiques de chargement portés chacun à 1 500 t (figure 13). Tous ces essais ont été menés avec enregistrement au PDA, et ont été répartis selon deux zones géotechniques distinctes (présence ou non des Silts Inférieurs compressibles). Tout au long du chantier, ces essais ont pu servir de référence pour la réception des pieux battus définitifs qui faisaient l'objet d'un contrôle systématique par courbes de battage, complété par des enregistrements au PDA à raison de 1 pieu sur 8. Les travaux se décomposent en différentes natures de prestations :

→ Une partie démolition avec la dépose de la partie supérieure du quai actuel dans laquelle s'inscrit le nouvel ouvrage (figure 9) et la démolition des ouvrages maritimes liés à l'exploitation de l'ancien dock flottant ;

→ Une partie fondation portant sur la réalisation :

- Pour la file maritime de pieux métalliques Ø 1 629 mm avec diaphragme pour améliorer la capacité portante, vibrés au 120 HD et battus au marteau hydraulique CG300 et de palplanches ▷



© ETMF & ETPO
18

en avant du mur de quai existant entre les tubes métalliques (dans le bassin), vibrofoncées au 25H1 à l'aide d'un faux pieu (figure 12) ;

- De pieux forés tubés au Kelly Ø900 mm ancrés dans le quai existant, complétés par endroit par une paroi de pieux sécants pour empêcher le départ des fines, et à l'arrière du quai, de pieux forés à la tarière creuse Ø1200 mm, qui ont déjà fait l'objet d'un article spécifique dans le n° 982 de Travaux de novembre 2023.

→ Une partie génie civil portant sur la réalisation :

- Des masques d'accostages, de poutres et dalles en béton armé positionnées sur les pieux préalablement réalisés ; d'une dalle de transition de 0,80 m d'épaisseur et d'une poutre de couronnement côté bassin. Le couronnement sera équipé de tous les appareils (bollards, défense d'accostage, etc.) et des réservations pour réseaux divers. Ces travaux ont été préparés par sous-éléments préfabriqués sur le terre-plein existant puis assemblés depuis le bassin par moyen maritime, de la file de pieux battus à la file du voile V2 (figures 1 et 14 à 16) :

Le reste des travaux a été réalisé via des techniques de génie civil terrestre plus classiques (figure 17). En effet, la réalisation du ferrailage, du coffrage et du bétonnage des poutres arrière s'est fait en fonction des marées.

Non liée aux contraintes de la marée, s'enchaîne la réalisation des 14 000 m² de dalle BA, des 400 m de longrine de quai, puis des remblais en 0/80 et 0/31,5 (couche de finition) en parallèle des VRD. L'ensemble ayant été réalisé en un an de travaux et sous une très



© HAROPA PORT

19- Navire "Jack-up" en bord à quai - préparation pour le champ éolien de Saint-Brieuc - 03/04/2023.

19- Jack-up vessel along-side the quay - preparation for the Saint-Brieuc wind-power farm - 03/04/2023.

forte coactivité, comme peut l'illustrer la figure 3, pour aboutir dans le délai prévu à un ouvrage technique avec 30 t/m² de capacité portante (voir l'ouvrage fini en figure 18).

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 4 000 t de tubes métalliques
- 28 000 m³ de béton
- 5 000 t d'armatures HA
- 69 masques d'accostage et 138 poutres préfabriquées
- 274 pieux tarière creuse Ø1 200 mm
- 500 pieux forés tubés au Kelly
- 3 400 m d'inclusions rigides Ø300 mm
- 200 m de parois en pieux sécants Ø600 mm
- 110 000 m³ de terrassement
- 135 000 m³ de dragage
- 90 000 m³ de grave sous-marin

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Haropa Port - Le Havre

MAÎTRE D'ŒUVRE : Haropa Port - Le Havre

ASSISTANT TECHNIQUE AU MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec (Terrasol et Tpi)

GROUPEMENT : Eiffage Génie Civil (mandataire), Etpo, Nge Fondations, Etmf et Sdi

GÉOTECHNICIEN PHASE G2 : Terrasol

ETUDES D'EXÉCUTION GÉNIE CIVIL : Biep

GÉOTECHNICIEN PHASE G3 : Fugro/Ginger

CONCLUSION

La contractualisation entre Haropa Port et Siemens Gamesa a déclenché un compte-à-rebours à l'été 2019. Chacun des acteurs du projet à son niveau à su répondre au défi du timing. En effet, notifié en avril 2021, ce projet ambitieux a été livré le 24 novembre 2022 pour le quai "Jack-up" et le 31 janvier 2023 pour le quai "Lo-Lo". Cette réalisation permettra de contribuer au développement de la filière éolienne en mer, véritable levier pour réussir la transition énergétique dans la décarbonation et donner à Haropa Port - Le Havre une place de choix dans cette ambition. Les quais sont à présent exploités par Siemens Gamesa et vont alimenter sur la période estivale 2023 les parcs éoliens de Saint-Brieuc et de Fécamp (figure 19). Au vu du caractère exceptionnel de l'ouvrage, une instrumentation des pieux du combiwall fonctionne en continu pour suivre les efforts qui y transitent. □

ABSTRACT

STRENGTHENING OF JOANNES-COUVERT QUAY IN LE HAVRE PORT TO RECEIVE OFFSHORE WIND TURBINES

GUILLAUME DUMONTET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - BERTRAND HAENTJENS, ETMF - CYRIL BOSSARD, ETPO - VLAD BRAGOS, BIEP EIFFAGE - MATHILDE BRUN, TERRASOL

As part of the project for strengthening of the Joannes-Couvert quay, Haropa Port appointed the consortium formed by Eiffage Génie Civil, Etmf, Etpo, Nge Fondation and Sdi for work on two port structures with a total quay length of 400 metres. The new structure, capable of withstanding loads of up to 30 tonnes/m², consists of a reinforced concrete deck resting on bored piles and driven tubes. After 18 months of works, at a pace governed by the low water periods, the consortium was able to deliver this exceptional structure. This project will contribute to the development of the offshore wind-power sector, a real lever for succeeding with the energy transition. □

REFUERZO DEL MUELLE JOANNES-COUVERT EN EL PUERTO DE LE HAVRE PARA ACOGER LA ENERGÍA EÓLICA MARINA

GUILLAUME DUMONTET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - BERTRAND HAENTJENS, ETMF - CYRIL BOSSARD, ETPO - VLAD BRAGOS, BIEP EIFFAGE - MATHILDE BRUN, TERRASOL

En el marco del proyecto de refuerzo del muelle Joannes Couvert, Haropa Port ha encargado al consorcio formado por Eiffage Génie Civil, Etmf, Etpo, Nge Fondation y Sdi la realización de obras en dos equipamientos portuarios con una longitud total de 400 m de muelle. La nueva estructura, capaz de soportar cargas de hasta 30 t/m², se compone de un tablero de hormigón armado sustentado sobre pilotes perforados y tubos hincados. Tras 18 meses de trabajo al ritmo impuesto por las franjas horarias de las mareas bajas, el consorcio ha logrado entregar esta obra poco común. Esta realización contribuirá al desarrollo del sector eólico marino, eje clave del éxito de la transición energética. □

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**



© MARINEFF

MODULES BIOMIMÉTIQUES POUR L'AMÉLIORATION DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

AUTEURS : MOHAMED BOUTOUJIL, DIRECTEUR DE LA RECHERCHE, ESITC CAEN - MICKAEL AUZAS, CHEF D'AGENCE VCMF MANCHE ET MER DU NORD, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL - NASSIM SEBAIBI, ADJOINT AU DIRECTEUR DE LA RECHERCHE - PASCAL CLAQUIN, PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS, UNIVERSITÉ DE CAEN NORMANDIE

DANS LE CADRE DU PROJET EUROPÉEN MARINEFF, DES MODULES EN BÉTON BIORÉCEPTIFS ONT ÉTÉ CONÇUS, FABRIQUÉS ET IMMÉRÉS EN FRANCE ET EN ANGLETERRE. CES TRAVAUX DE RECHERCHE, IMPLIQUANT DES LABORATOIRES DE RECHERCHE ET DES INDUSTRIELS, VISENT À METTRE AU POINT UNE NOUVELLE APPROCHE D'ÉCOCONCEPTION DE DIFFÉRENTES INFRASTRUCTURES MARITIMES. L'ENJEU PRINCIPAL EST LA PRISE EN COMPTE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE CES INFRASTRUCTURES, NÉCESSAIRES AUX ACTIVITÉS HUMAINES, SUR L'ÉCOSYSTÈME MARIN.

INTRODUCTION

Face à l'accroissement de la population mondiale et de sa concentration sur les côtes maritimes, les infrastructures maritimes (digues, jetées, quais, épis, mouillages...) répondent aux besoins humains, économiques et sociaux. Leurs conceptions et dimensionnements tiennent compte des

sollicitations mécaniques, physiques et chimiques du milieu marin. Du point de vue de l'écosystème marin, ces infrastructures remplacent des écosystèmes naturels riches par des zones artificielles pauvres en biodiversité. De plus, ces espaces artificialisés créent une barrière aux larves et juvéniles de nombreuses espèces

1- Immersion des modules de digues écoconçus Marineff.

1- Immersion of Marineff eco-designed dyke modules.

qui utilisent les écosystèmes côtiers comme refuges et nourricières, avant de rejoindre le large.

Afin d'atténuer ces effets négatifs et améliorer l'état écologique des zones côtières et maritimes, de nouvelles approches sont adoptées et visent à intégrer des fonctionnalités écologiques aux infrastructures maritimes et ce dès

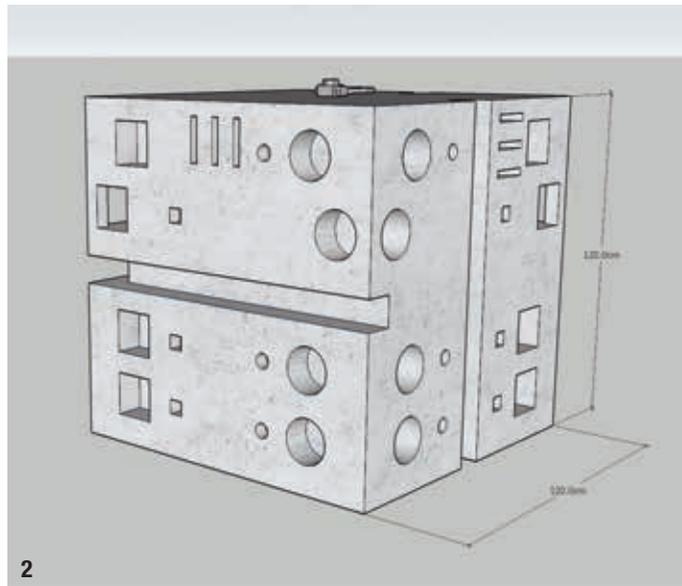
la conception de ces ouvrages (Bergen, Bolton, & Fridley, 2001) ; (Mitsch, 2012) ; (Fifth, et al., 2014) ; (Dyson & Yocom, 2015) ; (Strain, et al., 2017) ; (Pioch, et al., 2018).

Dans ce contexte, le projet Marineff (2018-2023) a pour objectif de développer une nouvelle approche multidisciplinaire d'éco-conception consistant à concevoir et à expérimenter des infrastructures biomimétiques favorables au développement de la biodiversité (faune et flore) marine. Les objectifs du projet sont :

- Introduction de nouvelles méthodes d'écoconception des infrastructures maritimes en incluant des fonctionnalités écologiques (habitats, biodiversité, éco-système) ;
- Proposition de nouveaux indicateurs permettant d'évaluer la biodiversité des écosystèmes avant et après l'installation des infrastructures ;
- Création de nouvelles infrastructures biomimétiques à base de bétons bioréceptifs ;
- Expérimentation de ces nouvelles infrastructures à travers des opérations pilotes in situ dans la zone Manche France-Angleterre.

Afin de répondre à ces objectifs, quatre infrastructures représentant une diversité d'usage ont été ciblées. Dans cet article, seuls les deux premiers modules et leurs expérimentations seront présentés et détaillés.

→ **Modules de digues biomimétiques** : Blocs cubiques en béton écoconçus dans un objectif d'amé-



2
© MARINEFF

2- Schéma de principe des modules de digues écoconçus Marineff.

3- Modules de digues Marineff écoconçus avec des cavités et une surface rugueuse.

2- Schematic diagram of Marineff eco-designed dyke modules.

3- Marineff eco-designed dyke modules with cavities and a rough surface.

- lioration de la bioréceptivité du matériau et de l'habitat pour différentes espèces (crustacées et poissons) locales. Ces blocs répondent également à des critères techniques de stabilité et de durabilité ;
- **Modules spécifiques d'habitat pour les huîtres plates** : Modules en béton qui ont pour objectif le captage et l'accroissement d'une espèce cible : l'huître plate *Ostrea edulis*. Cette dernière est considérée en déclin en Europe depuis des décennies et sa réintroduction fait l'objet de plusieurs travaux et de projets, notamment à travers le réseau européen NORA (Col-

lins, Hauton, Jensen, & Mallinson, 2022) ;

→ **Modules de rockpools** : Modules en béton qui sont accrochés aux murs de quai afin de créer des bassins artificiels en zone intertidale. Ces bassins constituent un habitat supplémentaire et créent des zones et des conditions environnementales de refuges et de recrutement ;

→ **Modules de mouillages** : Modules pour le mouillage des bateaux de pêche et de plongée. L'objectif est d'éviter la dégradation des fonds et des habitats marins par les ancrages conventionnels en proposant un mouillage écoconçu avec des habitats artificiels adaptés.

Ces quatre infrastructures biomimétiques ont été réalisées dans le cadre du projet Marineff selon le processus suivant :

- **Éco-conception** : sur la base d'un cahier des charges établi par les partenaires du projet et des experts externes. Le cahier des charges comprend des spécifications technico-économiques (matériaux, fabrication, transport, moyens et lieux d'immersion) et environnemental (analyse du site, besoins et contraintes, espèces ciblées...) ;
- **Formulation et mise au point des matériaux bioréceptifs** : adaptation des matériaux selon le cahier des charges et les constituants disponibles ;
- **Fabrication des modules** : soit en entreprise (modules de digues, modules spécifiques habitat d'huîtres et rockpools) soit au laboratoire (modules de mouillage) ;
- **Immersion et déploiement** : 11 sites d'expérimentations répartis dans la Manche en Normandie, Bretagne et Sud-Est de l'Angleterre. Les zones d'immersion sont intertidales et subtidales et représentent différents environnements écologiques ;
- **Suivi environnemental et technique** : selon un protocole de suivi établi par les partenaires du projet et permettant de suivre le processus de colonisation des modules et de durabilité.

ÉCOCONCEPTION DES MODULES BIOMIMÉTIQUES MODULES DE DIGUES BIOMIMÉTIQUES

Dans le cadre du Projet Marineff, une approche d'écoconception avec un cahier des charges a été appliquée à des blocs de digue cubiques. ▷



3
© MARINEFF



4
© MARINEFF



5
© MARINEFF

Elle consiste d'abord à étudier l'écosystème local puis à prendre en compte ses caractéristiques écologiques et à adapter l'infrastructure maritime au niveau du matériau et de la forme générale. Deux zones d'expérimentation ont été choisies dans la baie de Seine. La première en intertidal dans le port de Cherbourg (Manche) et la seconde en subtidal au large de Bernières-sur-Mer (Calvados). Les fonds marins de la baie de Seine sont constitués d'un substrat meuble (sableux et graveleux) et, par endroit, d'un substrat

granitique ou calcaire. L'écoconception des blocs de digues a pour objectifs de créer des habitats en augmentant le nombre de cachettes, de crevasses, de surplombs, de zones abritées comme exposées à la lumière et au courant, et également de grandes surfaces planes propices à la fixation des organismes. En tenant compte de l'écosystème local, les espèces locales suivantes ont été ciblées : trois espèces de crustacés : le homard (*Hommarus gammarus*), l'étrille (*Necora puber*) et le tourteau (*Cancer pagurus*) ; et deux espèces

de poissons (le tacaud commun (*Tripterus luscus*) et le capelan (*Tripterus minutus*)). Ces cinq espèces entrent dans la catégorie des espèces marines d'intérêt commercial, que ce soit pour de la pêche professionnelle ou la plaisancière. Au-delà de ces cinq espèces, l'ajout d'un substrat dur composé de diverses structures sur un substrat meuble jouera un rôle d'abri pour les juvéniles de poissons agissant ainsi comme une nurserie. Ces infrastructures participent à la mise en place d'une communauté phyto et

zoobentiques (algues et animaux) structurée remplissant différentes fonctions écologiques dont les rôles d'abri et de nourriture (réseau trophique).

La forme finale des modules de digues Marineff écoconçues est présentée figure 2. Elle comporte différentes réservations et particularités de surface :

→ **Des réservations (trous) carrés et ronds de différentes tailles :**

Ces modifications vont apporter des abris et augmenter la surface colonisable pour les organismes sessiles et vagiles type spongiaires,



6
© MARINEFF

4- Module Marineff destiné à la restauration des huîtres plates.

5- Coffrage du module d'habitats spécifiques pour les huîtres.

6- Immersion des modules de digues écoconçus Marineff.

4- Marineff module designed for the restoration of flat oysters.

5- Formwork of the specific oyster habitat module.

6- Immersion of Marineff eco-designed dyke modules.



7
© MARINEFF

cnidaires, bryozoaires, crustacés, mollusques et algues.

→ **Des réservations (trous) traversants carrés et ronds de grande tailles** : ces trous peuvent permettre la fuite à des espèces vagiles comme le homard ou autres grands crustacés.

→ **Rainures horizontales et verticales** : jouant le rôle de failles et permettant la colonisation par de petits organismes sessiles et timides recherchant un abri type faune cavernicole. Exemple : petits crustacés (crevettes, galathées), petits poissons (blennies), petits mollusques...

→ **Gouttières** : traversant le bloc horizontalement et verticalement pouvant servir d'abri pour des organismes suspensivores. La caractéristique traversante de ces gouttières vise à favoriser la présence de courant pour encourager la présence des suspensivores types spongiaires, gorgonaires, hydriaires arborescents, bryozoaires et autres mollusques lamellibranches.

Le béton utilisé pour la fabrication des modules de digues a été formulé par le laboratoire de l'Esitc Caen et pro-

7- Blocs de digues expérimentaux en zone intertidale.

7- Blocks of experimental dykes in an intertidal area.

duit par l'entreprise Tpc en lien avec l'ensemble des partenaires du projet. Il répond aux spécifications suivantes :

- Ciment CEM II 42,5 R ;
- E/C = 0.5 ;
- Classe de résistance : C35/45 ;
- Classe environnementale : XS3 ;
- Classe de consistance : S4.

La formulation retenue conduit à un béton aux propriétés suivantes :

- $R_{c1j} = 14,3 \text{ MPa}$;
- $R_{c28j} = 43 \text{ MPa}$;
- Porosité = 11 % ;
- Coefficient de diffusion $D_{app} = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les blocs sont cubiques (1,20 x 1,20 x 1,20 m) armés et pèsent environ 3,2 t. Les surfaces latérales et supérieures sont désactivées (3 à 8 mm) pour améliorer la colonisation par les organismes et microorganismes marins (figure 3).

36 blocs au total ont été fabriqués : 24 blocs Marineff écoconçus et 12 blocs lisses pour les besoins de comparaison.

MODULES D'HABITATS SPÉCIFIQUES POUR LES HŪÎTRES PLATES

L'huître plate *Ostrea edulis* est une espèce considérée en déclin sur les côtes européennes. Elle a été choisie comme exemple d'espèce cible pour des modules dédiés à sa restauration. Plusieurs paramètres contrôlent le recrutement, la fixation et le développement des huîtres (Collins, Hauton, Jensen, & Mallinson, 2022) : qualité et température de l'eau, taux de mortalité, disponibilité des nutriments et le substrat (Potet, et al., 2021). Pour ce dernier, les larves d'huîtres se fixent préférentiellement sur les coquilles d'autres huîtres.

Les paramètres environnementaux sont principalement liés au lieu d'immersion. Dans le cadre du projet Marineff, l'expérimentation à grande échelle a eu lieu en Angleterre (Calshot, Solent) où se trouvent d'anciennes zones de pêche d'huîtres plates. Ce site, de fond sableux et graveleux, fait l'objet

d'un suivi depuis des décennies de la part de l'Université de Southampton, partenaire de Marineff.

L'écoconception des modules pour les huîtres a commencé par l'optimisation de la formulation de béton et le choix de la forme finale du module. Après plusieurs formulations et essais physicomécaniques et de colonisation en laboratoire et in situ, le module de la figure 4 a été choisi. Il est en béton coquiller avec une forme rectangulaire et creuse pour la stabilité et la présence de surfaces internes (rugosité élevée grâce à un béton désactivé) et externes (faible rugosité). Les surfaces internes offrant moins de compétition aux larves d'huîtres par rapport aux algues en particulier.

26 modules ont été fabriqués par l'entreprise TPC selon le cycle de réalisation suivant (figure 5) :

- Installation de la cage de renfort et application des cales de revêtement sur les renforts ;
- Pose d'angles de coffrage intérieur et de mannequins, de peaux de coffrage intérieur et mise en œuvre de clés de coffrage internes ;
- Coulage du béton dans le module et retrait du coffrage.



8
© MARINEFF

**IMMERSION ET
SUIVI ENVIRONNEMENTAL
MODULES DE DIGUES
BIOMIMÉTIQUES**

Deux sites distincts ont été retenus pour l'immersion et le suivi des modules biomimétiques.

Le 1^{er} site se situe dans la rade de Cherbourg au niveau d'une zone d'expérimentation et de suivi, ce site accueille 24 modules.

Un plan de pose spécifique est défini par l'équipe de suivi environnemental. L'immersion des blocs à Cherbourg (figures 1 et 6) a été réalisée à l'aide

du ponton grue Hardoy équipé d'une grue à flèche treillis.

Cet outil dédié aux travaux maritimes permet de mettre les éléments à l'eau et de les poser directement à l'endroit souhaité grâce au positionnement DGPS.

Le module est déposé à son emplacement du ponton grue Hardoy équipé d'une grue à flèche treillis. Cet outil dédié aux travaux maritimes permet de mettre les éléments à l'eau et de les poser directement à l'endroit souhaité grâce au positionnement DGPS.

Le 2nd site accueille 12 modules, il se trouve au large de Bernière-sur-Mer sur un fond rocheux. L'immersion de ces

8 & 9- Transport et immersion des modules d'habitats spécifiques pour les huîtres dans le Solent (Angleterre).

8 & 9- Transport and immersion of specific oyster habitat modules in the Solent (England).

blocs s'est faite à l'aide d'un multicat, ce dernier possède un système de positionnement DGPS et une grue hydraulique (type Hiab) permettant la mise à l'eau des modules. Ces derniers sont immergés avec un système de ballons (parachutes de plongée) qui allège le poids relatif du module sous l'eau.

Le module est ensuite guidé par scaphandrier puis déposé sur le fond. Le recours au système de parachute permet de sécuriser l'opération vis-à-vis de la houle présente sur le site de Bernière qui est bien plus exposé que la rade de Cherbourg.



9
© MARINEFF

Un suivi environnemental est réalisé sur les modules de digues biomimétiques et sur des modules de digues classiques immergées sur les mêmes sites. Le suivi est réalisé quatre fois par an, aux quatre saisons.

La diversité et la biomasse de la flore et de la faune fixée et vagile sont déterminées en plongée en couplant des comptages et des identifications in situ, à un suivi photographique et à des prélèvements.

En parallèle, des mesures de production primaire (fixation de carbone) des macroalgues et des microalgues présentes au sein des biofilms sont réalisées en associant des mesures d'oxygène et de pCO₂ dans des cloches benthiques automatisées et des mesures de fluorescence modulée de type PAM (Pulse Amplitude Modulated Fluorimetry). Les cloches benthiques développées dans le cadre du projet permettent de réaliser des mesures standardisées, non influencées par la lumière incidente, ce qui améliore les comparaisons entre les modules, les sites et les saisons. Ces approches apportent ainsi des informations sur la colonisation et la productivité des modules qui permettent de caractériser le fonctionnement du nouvel écosystème qui se met en place et d'en appréhender la trajectoire.

Les premiers résultats montrent une colonisation plus importante par la faune des modules biomimétiques avec par exemple l'utilisation des cavités pour l'établissement de nids par certaines espèces de poissons. Une différence de colonisation par les macroalgues est également remarquée, les modules biomimétiques favorisent l'installation de laminaires (grandes algues brunes) qui représentent un habitat

pour de nombreuses espèces (figure 7). Les données sont également comparées aux écosystèmes adjacents des sites d'immersion afin de développer des indicateurs qui doivent permettre l'évaluer l'immersion de structure.

MODULES D'HABITATS SPÉCIFIQUES POUR LES HUITRES PLATES

Les 26 modules d'habitat spécifiques pour les huîtres ont été transportés de Normandie vers l'Angleterre afin d'être

immergés à Calshot dans le Solent en septembre 2020 (figures 8 et 9). Ces modules d'habitat spécifiques pour les huîtres plates immergés en Angleterre (Calshot) sont suivis par un sonar à balayage latéral, une vidéo sous-marine à distance et des relevés effectués par des plongeurs en scaphandre autonome, en accordant une attention particulière à l'installation des larves d'huîtres, à la diversité de l'épibiote, à la couverture de l'épibiote et aux espèces mobiles.

CONCLUSION

Les infrastructures marines, digues, quais, mouillages, sont nécessaires aux activités humaines côtières. Une grande partie de ces infrastructures n'offre pas d'habitats adaptés aux organismes marins. La protection et l'amélioration des écosystèmes côtiers nécessite donc l'adaptation des infrastructures maritimes au milieu marin. Une approche d'écoconception avec un cahier des charges technico-économique et environnemental a été appliquée dans le cadre du Projet Marineff à des blocs de digues cubiques et des modules d'habitats spécifiques pour les huîtres plates. Les écosystèmes des zones d'immersion en Normandie et dans le Hampshire ont été étudiés et leurs caractéristiques écologiques ont été prises compte dans l'écoconception des infrastructures au niveau du matériau et de la forme générale. Les protocoles de suivi environnemental et technique ont permis, à ce jour, de constater la mise en place d'un nouvel écosystème sur et autour des blocs biomimétiques. Ainsi, la colonisation est plus importante par la faune grâce au béton bioréceptif et aux cavités permettant l'établissement de nids par certaines espèces de poissons. Les macroalgues remarquées sur les modules biomimétiques favorisent l'installation de laminaires (grandes algues brunes) et représentent un habitat pour de nombreuses espèces. Un important travail d'identification des espèces marines colonisant les modules biomimétiques a été réalisé. C'est une étape importante de la compréhension du fonctionnement des modules biomimétiques permettant une meilleure adaptation des infrastructures à l'écosystème marin. □

LE PROJET MARINEFF

Le projet Marineff est un projet collaboratif qui a été sélectionné dans le cadre du Programme européen de coopération transfrontalière INTERREG VA France (Manche) / Angleterre cofinancé par le FEDER. Il rassemble neuf partenaires britanniques et français :

- École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction de Caen, ESITC Caen (FR) ;
- Bournemouth University Higher Education Corporation, BU (GB) ;
- Museum National d'Histoire Naturelle, MNHN (FR) ;
- Ports de Normandie, PdN (FR) ;
- Travaux Publics du Cotentin, TPC (FR) ;
- University of Southampton, US (GB) ;
- University of Exeter, UE (GB) ;
- Université de Caen Normandie, UC (FR) ;
- Vinci Construction Maritime et Fluvial, VCMF (FR) ;

Dans le cadre du projet Marineff, 4 types d'infrastructures maritimes biomimétiques ont été étudiées et expérimentées à l'échelle 1 (prototype) pour un suivi environnemental :

- 36 blocs de digues en béton dont 24 blocs biomimétiques (3,2 t) et 12 blocs de référence (3,6 t) ;
- 26 modules d'habitat (0,7 t) spécifique pour les huîtres plates ;
- 6 mouillages (3 t) pour bateau ;
- 110 rockpools.

Les expérimentations in situ comprennent :

- 3 opérations pilotes sur 3 sites différents ;
- 8 expérimentations sur 8 sites différents.



ABSTRACT

BIOMIMETIC MODULES FOR IMPROVING MARINE BIODIVERSITY

MOHAMED BOUTOUIL, ESITC CAEN - MICKAEL AUZAS, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL - NASSIM SEBAIBI, ADJOINT AU DIRECTEUR DE LA RECHERCHE - PASCAL CLAQUIN, UNIVERSITÉ DE CAEN NORMANDIE

Maritime infrastructure (dykes, quays, anchorages, etc.), mostly of concrete, is necessary for human activity. The construction of such maritime structures entails the loss of natural habitats and disturbance of the natural life cycle of marine organisms. The Marineff European project aims to take into account the environmental impacts of these infrastructure facilities by proposing biomimetic concrete modules. Thus, breakwater modules and specific habitats for flat oysters have been eco-designed and have undergone environmental monitoring since their immersion in the Channel, in France and England. After two years of monitoring in situ, the Marineff modules show a significant colonisation of fauna and flora. □

MÓDULOS BIOMIMÉTICOS PARA LA MEJORA DE LA BIODIVERSIDAD MARINA

MOHAMED BOUTOUIL, ESITC CAEN - MICKAEL AUZAS, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL - NASSIM SEBAIBI, ADJOINT AU DIRECTEUR DE LA RECHERCHE - PASCAL CLAQUIN, UNIVERSITÉ DE CAEN NORMANDIE

Las infraestructuras marítimas (diques, muelles, fondeaderos, etc.), en su gran mayoría de hormigón, son necesarias para la actividad humana. La realización de tales construcciones marítimas implica la pérdida de hábitats naturales y la perturbación del ciclo de vida natural de los organismos marinos. El proyecto europeo Marineff pretende minimizar los impactos medioambientales de este tipo de infraestructuras utilizando módulos de hormigón biomiméticos. Por ejemplo, se han ecodiseñado módulos de diques y hábitats específicos para las ostras planas, que son objeto de un seguimiento medioambiental desde su inmersión en el Canal de la Mancha, en Francia y Reino Unido. Tras dos años de seguimiento in situ, los módulos Marineff presentan una colonización importante de fauna y flora. □



1
© GEOS

PASSE À POISSONS DU SEUJET - OUVRAGE DE MONTAISON PISCICOLE

AUTEURS : GRÉGOIRE AUBERT, DIRECTEUR ADJOINT GÉNIE CIVIL, GEOS - VALENTIN DREZET, INGÉNIEUR GC, GEOS - JEAN CHRISTOPHE MACHIN, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN, GEOS - JOHAN JANTZEN, DIRECTEUR ADJOINT HYDRAULIQUE, GEOS

OUVRAGE REMARQUABLE EN PLEIN DE CŒUR DE LA VILLE DE GENÈVE, LE BARRAGE DU SEUJET EST UN VÉRITABLE ROBINET DU LAC LÉMAN, ÉDIFIÉ AU DÉBUT DES ANNÉES 1990. IL NE RÉPOND PLUS AUX PROBLÉMATIQUES DE MIGRATION PISCICOLE ACTUELLES. LE DÉPARTEMENT DE L'ENVIRONNEMENT, DES TRANSPORTS ET DE L'AGRICULTURE A DEMANDÉ AUX SERVICES INDUSTRIELS DE GENÈVE (EXPLOITANT DU BARRAGE) DE PROCÉDER À L'ASSAINISSEMENT DE LA MONTAISON PISCICOLE, CE QUI DONNE LIEU À DES TRAVAUX DE TRANSFORMATION COMPLEXES.

INTRODUCTION

Au début des années 1990, la régulation du lac Léman se faisait "à la main" à l'aide de rideaux mobiles. Souhaitant moderniser cette installation vétuste, les Services Industriels de Genève (SIG) ont entrepris la construction du barrage du Seujet, mis en service en

1995 (figures 2 et 3). En plus de réguler le niveau d'eau du lac Léman (en vertu de la convention signée en 1984 par les cantons de Genève, Vaud et Valais), il permet également de réguler les débits du Rhône en vue d'optimiser la production hydroélectrique du barrage de Verbois.

1- Chantier avant batardeaux.

1- Site before cofferdams.

En pratique, le niveau du lac Léman ne doit être ni trop haut, ni trop bas, son altitude variant selon les saisons : entre 371,60 et 371,75 m en mars et en avril ; et entre 372,15 et 372,30 m de juin à décembre. Ces altitudes permettent de suivre le rythme naturel du lac à savoir : moins



2

© SGI



3

© SGI

2 & 3- Barrage du Seujet en construction.

4- Ancienne passe à poisson et ancienne passe à castor.

2 & 3- Seujet dam under construction.

4- Former fish pass and former beaver pass.

d'eau au printemps dû à une rétention naturelle sous forme de neige dans les montagnes voisines (Alpes et Jura) et plus d'eau à la fonte des neiges en été et en automne.

Le barrage du Seujet a la particularité de se situer au cœur de Genève entre les ponts de la Coulouvrenière et de Sous-Terre, à proximité de l'ancienne usine des Forces Motrices.

La centrale électrique est implantée sur la partie Est du barrage sous la plateforme en béton et ses 3 pyramides en verre.

La centrale hydro-électrique au fil de l'eau est composée de 3 grosses turbines Kaplan d'un poids unitaire de près de 30 t. Sa puissance est de 5,6 MW et elle produit 25 GWh par an, ce qui représente 1 % de la consommation du canton de Genève sur la base d'un débit moyen de 550 m³/s.

Le 1^{er} janvier 2011, l'entrée en vigueur des modifications de la Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux), portant sur la renaturation a défini les deux grands axes suivants :



4

© GEOS

- Encouragement des revitalisations ;
- Réduction des effets négatifs engendrés par l'utilisation de la force hydraulique.

Et c'est donc pour ces motifs que le département de l'environnement, des transports et de l'agriculture a demandé aux SIG de procéder à l'assainissement de la montaison piscicole.

Les manquements de l'ancienne passe à poissons (figure 4) peuvent se résumer de la façon suivante :

- Passe à bassins successifs trop étriqués ;
- Déjaugage fréquent de la prise d'eau (assèchement de la passe) ;
- Débit d'appel insuffisant ;
- Absence d'une entrée en rive gauche le long du quai ;
- Sortie de la passe peu favorable, côté vanne ;
- Bassins trop petits pour les grands spécimens.

Pour se prémunir de ces défauts, les solutions suivantes ont été apportées :

- Redimensionnement de la passe à poissons, en respectant des conditions d'énergie dissipée compatibles avec la migration des espèces cibles (max. ~ 150 W/m³) ;
- Construction de prises d'eau étagées munies de vannes automatiques asservies au niveau dans les bassins, afin de pallier les fluctuations de niveau amont et afin que l'ouvrage soit fonctionnel en tout temps ;
- Augmentation du débit d'attrait en construisant une conduite d'attrait complémentaire aérienne, fonctionnant en siphon et superposée à la future passe à poissons ;
- Prolongation du canal collecteur et création d'une entrée supplémentaire plus proche de la rive gauche, ▷

élimination des grilles caillebotis qui piègent les poissons qui transitent par la conduite d'attrait et servent de support au développement de moules zébrées qui entravent le passage du débit d'attrait ;

→ Reconstruction de la passe à castors située au-dessus de la nouvelle conduite d'attrait, elle-même située au-dessus de la nouvelle passe.

Le barrage du Seujet étant un ouvrage sensible et clé pour la ville de Genève (figure 1), de nombreuses mesures complémentaires ont dû être prises en compte pour satisfaire aux exigences suivantes :

- Assurer de façon continue la production d'énergie du barrage ;
- Définir les débits maximum admissibles dans les passes du barrage lors des différentes phases de chantier ;
- Quantifier les pertes d'exploitation éventuelles ;
- Assurer la sécurité continue d'un site en exploitation dans un milieu urbain dense ;
- Définir les accès et zones hors crues de replis journaliers des machines de chantier.

De plus, un travail exhaustif a dû être réalisé pour satisfaire à l'ensemble des exigences des parties prenantes du projet : SIG, ville de Genève, offices cantonaux, commission de la pêche, etc.

CONTRAINTES ET MÉTHODOLOGIE

Compte tenu des fortes contraintes administratives et techniques de ce chantier, les études de conception ont été fortement poussées afin de s'affranchir de quelconques surprises en phase de réalisation, avec l'utilisation d'une maquette 3D sous Revit du barrage existant (figures 5 et 6), phasage 4D, étude d'impact sur la capacité de production électrique du barrage, anticipation de conception des ouvrages provisoires. Tels ont été les points clés de la conception en compléments des études courantes à réaliser.

De plus, l'un des sujets clés de ce projet a été la méthodologie de batardage et de débatardage : les travaux ont été réalisés dans le Rhône où il est nécessaire de mettre en œuvre des écrans de batardeaux conséquents pour isoler les zones de travail et permettre une réalisation de bonne qualité tout en respectant les règles de sécurité.

Les éléments de batardage ont été étudiés et prédimensionnés en phase

avant-projet afin que ceux-ci puissent figurer de la manière la plus réaliste possible dans le dossier de demande d'autorisation. Ces ouvrages provisoires étant généralement plus imposants que les ouvrages définitifs, les impacts sur la capacité de débit du barrage pendant la phase chantier ont été établis à l'aide d'un modèle hydraulique 2D.

La détermination des impacts hydrauliques en phase chantier permet de définir les contraintes de calendrier de réalisation en lien avec l'hydrologie du Rhône et les contraintes de gestion du lac Léman.

Le principe de calcul est similaire à la détermination de l'impact sur la débitance du barrage de l'ouvrage prévu. Le phasage du chantier a dû également tenir compte des aspects envi-

ronnementaux liés aux principales périodes de migration des poissons, ceci afin de limiter autant que possible les impacts sur la faune piscicole pendant le chantier.

Ces aspects ont été précisés dans le cadre de la Notice d'impacts qui accompagne le dossier de mise à l'enquête du projet selon les normes et prescriptions en vigueur.

PROBLÉMATIQUES HYDRAULIQUES

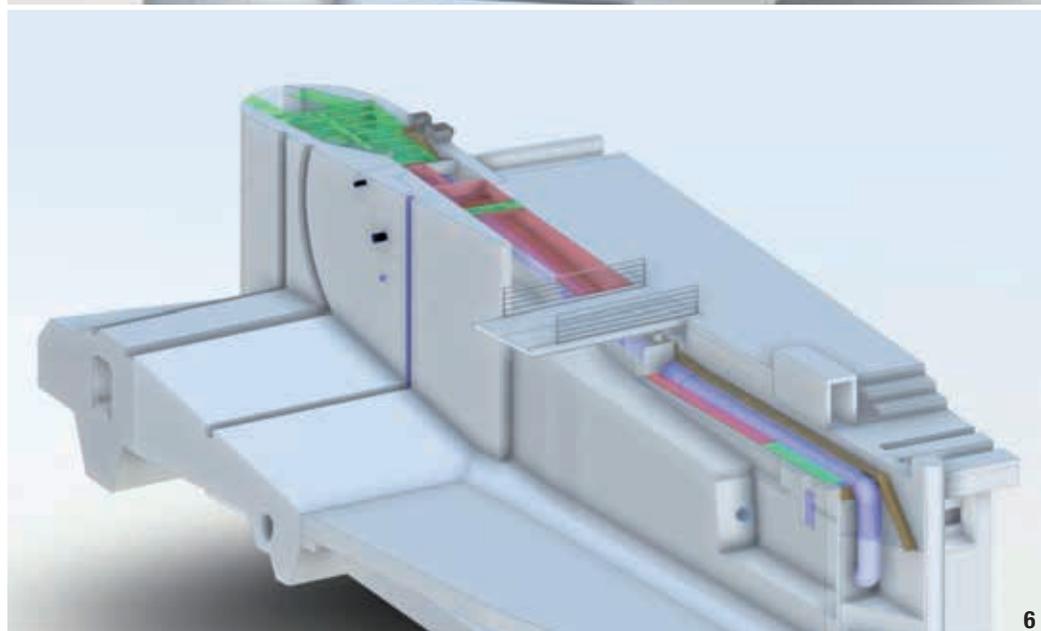
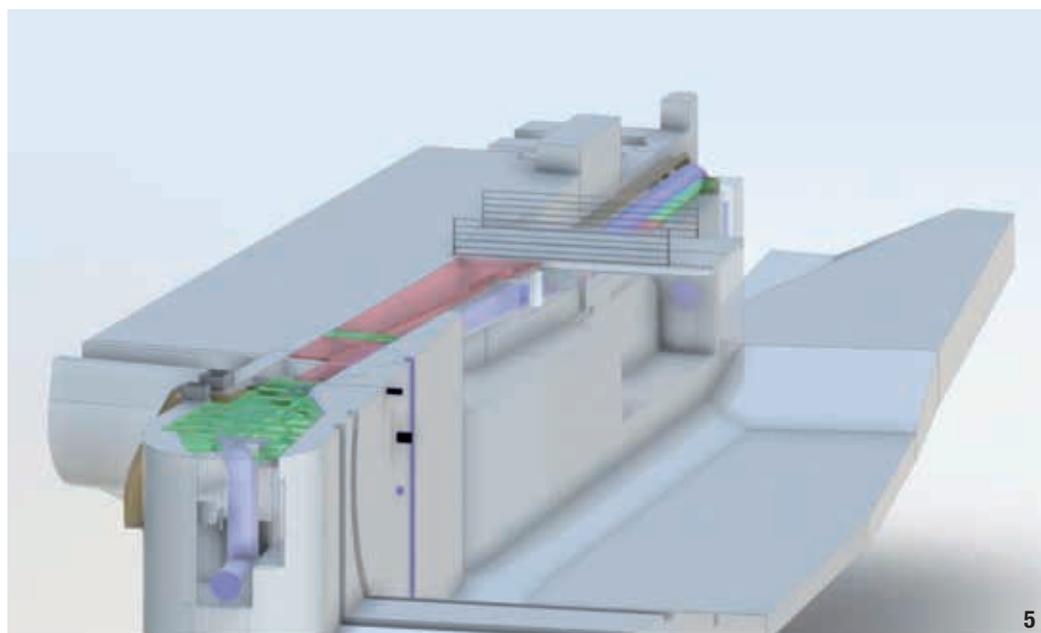
L'ouvrage du Seujet est localisé sur le Rhône à la sortie du lac Léman. Les niveaux d'eau du Rhône à l'amont et à l'aval de l'ouvrage sont dépendants de différents facteurs :

- 1-** Niveau du lac ;
- 2-** Débit du Rhône ;
- 3-** Débit de l'Arve.

En effet, le niveau du Rhône à l'amont immédiat de l'ouvrage du Seujet correspond au niveau du lac auquel on retranche les pertes de charge occasionnées sur le linéaire parcouru par le fleuve jusqu'au barrage, pertes de charge elles-mêmes dépendantes du débit qui transite et du niveau du Lac. À l'aval, le niveau dépend du débit du Rhône mais également du débit de

5 & 6- Maquette de travail Revit, vues amont et aval.

5 & 6- Revit work model, upstream and downstream views.



l'Arve qui crée un remous jusqu'au Seujet, la confluence entre le Rhône et l'Arve étant relativement proche du Seujet. Différents cas de fonctionnement types ont été identifiés pour le projet, selon les niveaux de lac et débits du Rhône et de l'Arve usuellement observés au cours des différentes saisons, ceci afin de vérifier le bon fonctionnement de la passe dans l'ensemble des configurations.

LE SEUJET, UN CHANTIER PLURIDISCIPLINAIRE

Les travaux sur les ouvrages d'art hydraulique sont en général sur des

7- Batardeau amont avant la pose.

8- Mise en place du batardeau amont.

7- Upstream cofferdam before installation.

8- Placing the upstream cofferdam in position.



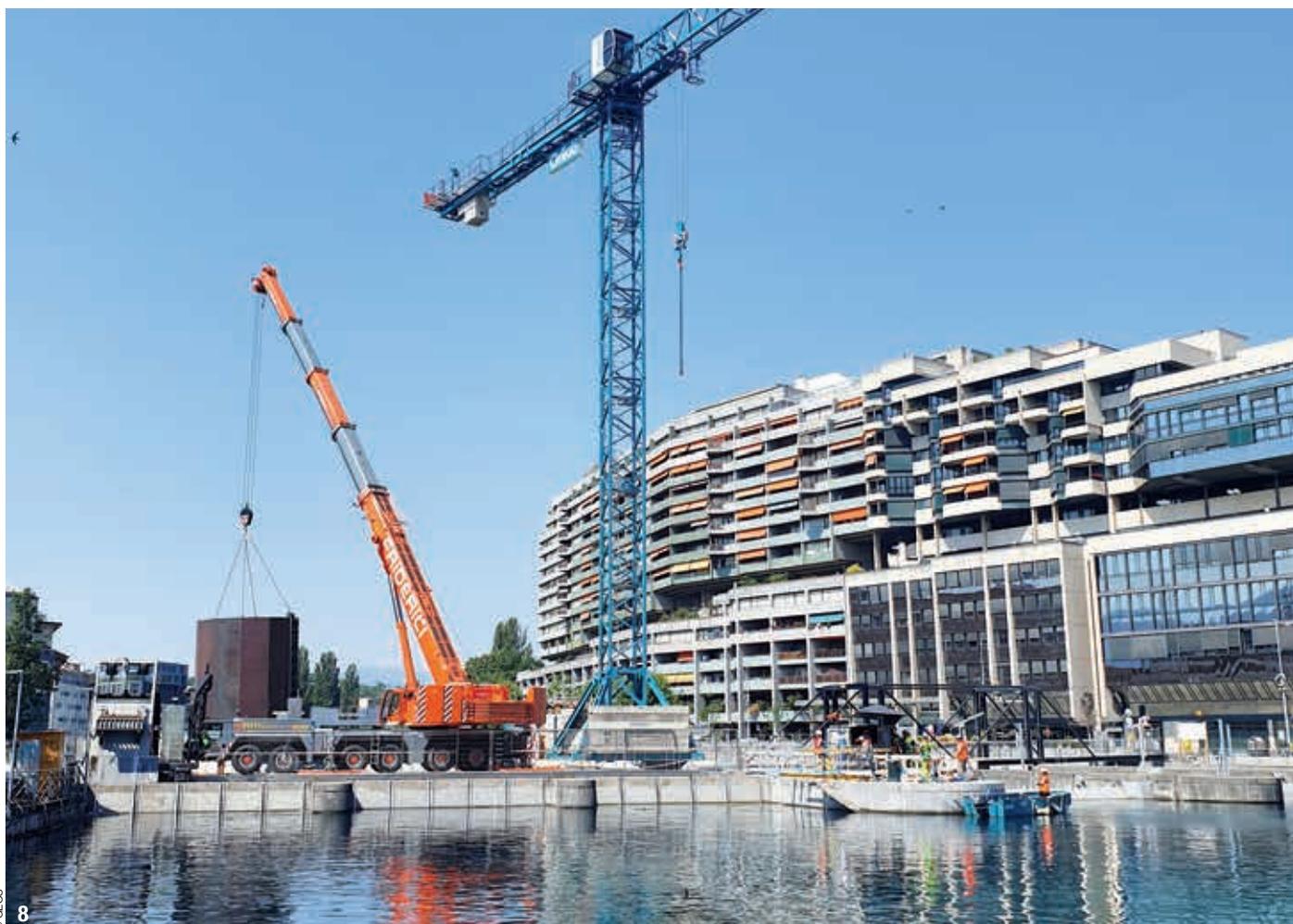
© GEOS

sites isolés et distants des zones urbaines, cependant dans le cas du barrage du Seujet, nous sommes au centre de l'une des villes les plus influentes du monde par le tourisme mais aussi pour les affaires.

Ces travaux sont donc une vitrine pour ce secteur d'activité très peu connu et répandu ainsi que pour l'entreprise adjudicatrice qui en fera un chantier de référence.

Réaliser un chantier sur le barrage du Seujet, c'est travailler sur plusieurs fronts. Tout d'abord, il y a le travail d'exhumation des archives afin de bâtir une maquette 3D solide et pertinente.

En parallèle, il faut s'affairer aux tâches plus courantes : études de béton armé, charpente métallique, méthodologie de démolition, réalisation de diagnostics en tout genre, études hydrauliques, etc. Mais aussi régler les problématiques de sécurité, un phasage complexe, une gestion des débits pour garantir la production en électricité et réguler le niveau du lac Léman malgré les travaux, l'intervention de corps de métiers spécialisés (scaphandrier par exemple).

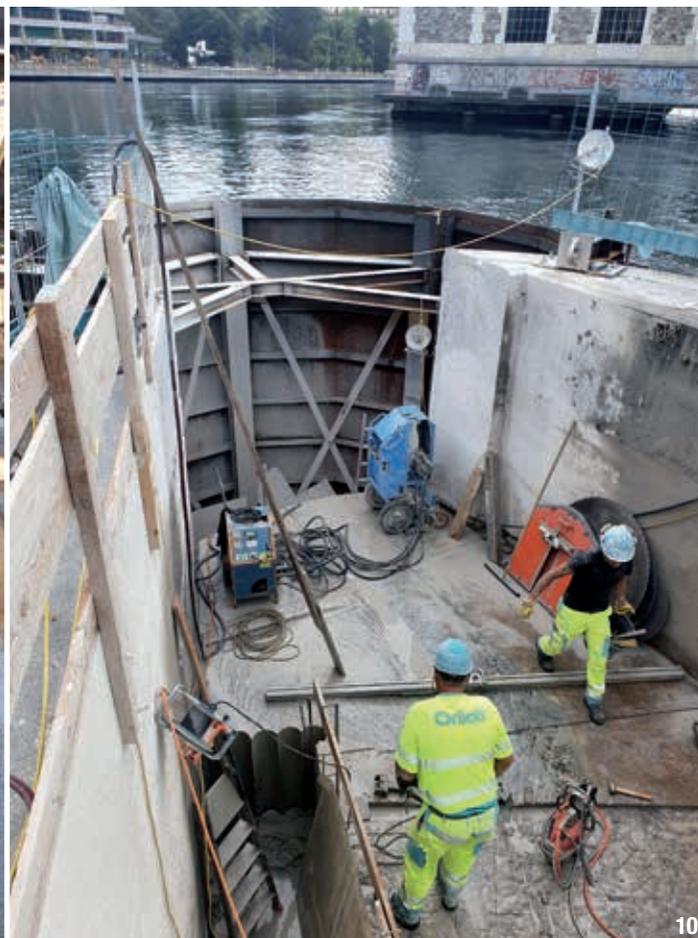


© GEOS



9

© GEOS



10

© GEOS

Il a donc été décidé d'attribuer le chantier en entreprise en s'appuyant sur des critères techniques en plus du simple critère de prix.

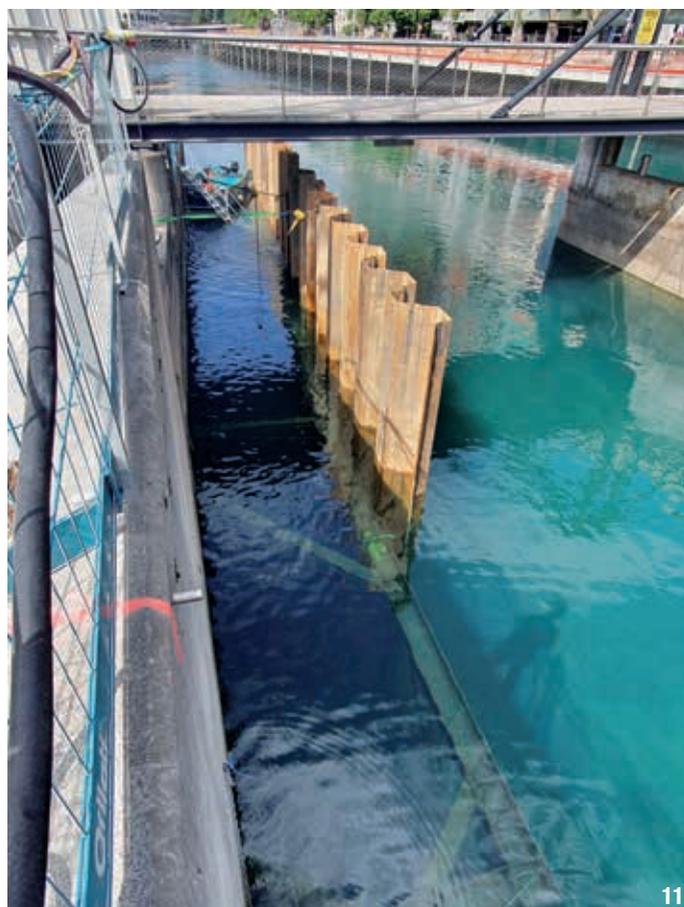
LE BATARDAGE DU NEZ DE PILE : UN CHANTIER DANS LE CHANTIER

Des démolitions ont été réalisées à l'abri d'un batardeau situé sur le nez de pile du barrage. Ce batardeau se situe dans l'écoulement du groupe n°1. Pour limiter les impacts du chantier sur ce groupe, le phasage a été étudié pour permettre une mise en service plus rapide des nouvelles vannes de coupure de la passe et de démonter au plus vite cet ouvrage.

En raison de la profondeur importante et variable du radier dans cette zone, ce batardeau est réalisé tel un caisson métallique.

Des plaques acier soudées entre elles formeront l'enceinte étanche. Elles sont fixées à une structure porteuse principale constituée de portiques verticaux et horizontaux.

Pour limiter les travaux sous l'eau, le caisson a été assemblé et soudé en usine avant transport sur site et mise en position par immersion.



11

© GEOS

9- Scaphandrier prêt à l'action.

10- Batardeau amont à sec.

11- Mise en place du batardeau aval.

9- Diver ready for action.

10- Dry upstream cofferdam.

11- Placing the downstream cofferdam in position.

Les profilés des portiques ont été fixés par scellements chimiques à la pile. Construit en une seule pièce de 27 t par Orlati Métal, sa pose a nécessité 86 ancres subaquatiques.

Le batardeau est soumis à environ 5 m de poussée hydraulique et des efforts importants se sont développés dans la structure.

Une forme semi circulaire qui favorise les redistributions de charges en voûte et limite le cisaillement à l'inter-



© GEOS 12

face avec la pile a donc été préférée (figure 7).

Les travaux de mise en place du batardeau (figure 8) ont débuté le 19 juillet 2022 et ont nécessité un soin particulier pour son guidage et son ancrage :

- Utilisation de la grue à tour de 300 t pour son levage ;
- Utilisation d'une embarcation pour le guidage et maintien au droit de la pile ;
- Collaboration d'une équipe de trois scaphandriers (figure 9) pour assurer le boulonnage du batardeau à la pile puis les soudures nécessaires à étanchéifier.

Cette opération a été réalisée dans la journée et n'a pas nécessité de reprise spécifique au niveau des ancrages subaquatiques (figure 10).

BATARDEAU AVAL : CONTRAINTES TECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

Sur la partie aval du barrage, un batardeau de type rideau de palplanches

12- Structure provisoire de la passerelle existante.

12- Temporary structure of the existing foot bridge.

d'environ 400 m² a été assemblé sur site par les équipes de scaphandriers (figure 11). Muni d'un fond plat métallique assemblé et levé en un bloc, l'opération a amené des contraintes importantes en termes d'étanchéité. De plus, afin de répondre aux exigences environnementales du canton

de Genève, une pêche des poissons a été organisée en présence des autorités à l'aide de la grue pour sortir des bacs remplis de poissons sur une profondeur d'environ 6 m.

ADAPTATION À UN OUVRAGE EXISTANT

Comme tout chantier de réhabilitation, la découverte d'éléments imprévus a demandé aux équipes d'ingénieurs de trouver des solutions alternatives en plein chantier. Hormis le fort degré d'adaptabilité nécessaire à la tâche, il a fallu aussi s'adapter aux contraintes d'exploitation et aux problématiques hydrauliques visant à garantir le bon fonctionnement du barrage.

De plus, une servitude piétonne existante passe au-dessus de l'écluse du barrage sous la forme d'une passerelle haubanée dont l'un des appuis se situe directement sur l'emplacement des travaux à exécuter.

Afin de ne pas condamner cet axe de circulation majeur, un appui provisoire, portique métallique contreventé (figure 12), a été conçu selon les données de l'existant et du projet. Force a été de constater, comme dans une grande majorité des projets de transformation, que les données de l'existant étaient en réalité légèrement différentes de la réalité.

D'un point de vue général, il a donc fallu s'adapter au site pour reprendre l'ensemble des calculs de ces ouvrages impactés lors de la réalisation.

Pour parvenir à des résultats satisfaisants tout en assurant le respect des délais, des coûts et de la qualité d'exécution, un travail de fond a été mené en collaboration avec l'exploitant du site, la maîtrise d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise.

La garantie de la réussite réside dans la parfaite collaboration des acteurs d'un projet. □

CHIFFRES CLÉS

- 16 mois de travaux
- Coût des travaux : 3 750 000 CHF TTC

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE DE L'OUVRAGE :** Services industriels de Genève
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** Groupement Seujet composé de Geos Ingénieurs Conseils SA (Génie civil et hydraulique) et Gren (Environnement)
- ENTREPRISE DE CONSTRUCTION :**
 - Entreprises Orllati : démolition et travaux lacustres
 - Construction Perret : transformation-rénovation

ABSTRACT

SEUJET FISH PASS - FISH SPAWNING RUN STRUCTURE

GRÉGOIRE AUBERT, GEOS - VALENTIN DREZET, GEOS -
JEAN CHRISTOPHE MACHIN, GEOS - JOHAN JANTZEN, GEOS

The Seujet dam, built in the early 1990s, no longer corresponded to current fish migration requirements. Alterations were made to renovate the fish spawning run. These works involved renovating the fish passes with multi-level water intakes capable of offsetting fluctuations in the upstream level and operating at all times, increasing the flow rate by building an additional elevated attraction conduit, removing the grating screens which trap fish, and rebuilding the beaver pass, all this in the heart of the Geneva city centre while maintaining the dam's electricity production. □

ESCALA DE PECES DE SEUJET - UNA OBRA DE MIGRACIÓN PISCÍCOLA AGUAS ARRIBA

GRÉGOIRE AUBERT, GEOS - VALENTIN DREZET, GEOS -
JEAN CHRISTOPHE MACHIN, GEOS - JOHAN JANTZEN, GEOS

Edificada a comienzo de los años 1990, la presa de Seujet ya no respondía a los problemas actuales de migración piscícola. Se han llevado a cabo obras de transformación para sanear la migración de los peces aguas arriba, que han consistido en rectificar las escalas de peces con tomas de agua escalonadas que permiten paliar las fluctuaciones de nivel aguas arriba y funcionar en todo momento, aumentar el caudal construyendo un conducto de captación adicional aéreo, eliminar las rejillas donde quedaban atrapados los peces y reconstruir el paso para castores, todo ello en pleno centro de Ginebra y manteniendo la producción eléctrica de la presa. □

BASE NAVALE DE TOULON : CONSOLIDATION D'UN MUSOIR DÉGRADÉ

AUTEURS : MARC DURANTON, CONDUCTEUR D'OPÉRATIONS, BUREAU DES OUVRAGES MARITIMES DE L'ÉTABLISSEMENT DU SERVICE D'INFRASTRUCTURE DE LA DÉFENSE (ESID) DE TOULON - PIERRE LOUIS, INGÉNIEUR CONSEIL, PIERRE LOUIS CONSEILS - ROBIN BETEND, DIRECTEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - LÉA URIEN, CONDUCTRICE TRAVAUX, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL



1
© ESID

LES GRANDS BASSINS VAUBAN, SUR LA BASE NAVALE DE TOULON, PARTICIPENT AU MAINTIEN EN CONDITION OPÉRATIONNELLE DES NAVIRES DE LA MARINE NATIONALE, DONT NOTAMMENT LE PORTE-AVION CHARLES DE GAULLE POUR SES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE. LES MUSOIRS DU BASSIN SUD-EST PRÉSENTENT DES DÉSORDRES AVANCÉS QUI NÉCESSITENT DES TRAVAUX, SANS ATTENDRE LA REFORTE LOURDE DE LA LIGNE EST PRÉVUE VERS 2030-35. L'ESID DE TOULON A ÉTABLI LE PROGRAMME DE CETTE OPÉRATION PUIS A MANDATÉ PIERRE LOUIS CONSEILS POUR DÉFINIR UNE SOLUTION TECHNIQUE DE CONSOLIDATION DU MUSOIR OUEST TENANT COMPTE DE L'ÉTAT DE DÉGRADATION DE L'OUVRAGE, MAIS AUSSI ET SURTOUT DES CONTRAINTES D'EXPLOITATION DE LA BASE NAVALE ET DES BASSINS VAUBAN EN PARTICULIER.

INTRODUCTION

Le bassin Vauban Est a été construit entre 1912 et 1921. Il est constitué de deux tronçons en caissons métalliques (242 m au nord et 198 m au sud) lestés d'un remplissage en béton et en maçonnerie.

Dès la construction, des problèmes d'étanchéité s'étaient révélés. Ces problèmes étaient liés à la composition du béton de chaux, mis en œuvre avec du

sable de carrière présentant moins de fines que le sable de mer initialement prévu, conduisant à une porosité élevée du béton.

Des essais menés en 1923 par le LCPC ont montré 6,5% de vide.

Des inspections des musoirs ont été réalisées en 2009, 2016, 2017 et 2018 mettant en évidence une évolution significative de l'état des maçonneries et notamment de multiples frac-

tures présentes de la surface au pied du musoir Ouest (objet de cet article), synthétisées sur la figures 2a et 2b.

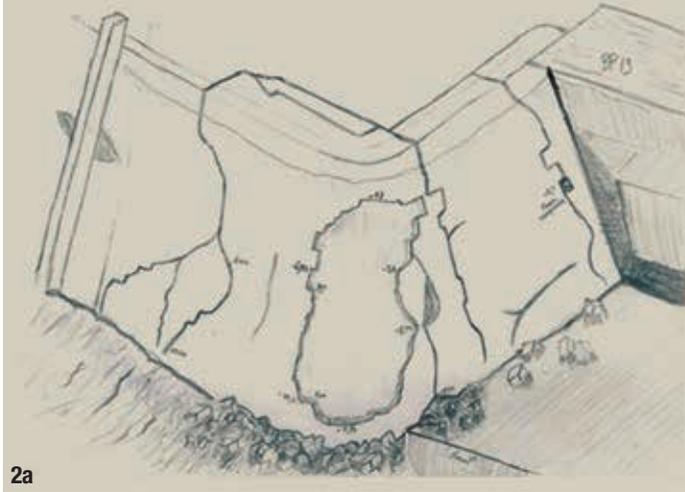
1- Vue d'ensemble des Grands Bassins Vauban.

1- General view of the large "Vauban" docks.

LA DÉFINITION DU PROGRAMME, LES ENJEUX ET CONTRAINTES

Le projet consiste en une consolidation provisoire du musoir Ouest du GBV Sud-Est (figures 3a et 3b) jusqu'à la reconstruction générale de l'ouvrage de tête, programmée dans les 5 à 10 ans.

DESSIN EXTRAIT DE LA VISITE D'AVRIL 2018



2a
© ESID



2b
© ESID

Cette consolidation a pour objectif de retrouver une exploitation nominale du bateau-porte (BP) 19, sans risque de chute d'éléments de maçonnerie pendant les phases de manœuvre du BP, comme c'est le cas actuellement, mais aussi de pouvoir circuler sur celui-ci.

Elle permettra de retrouver les charges d'exploitation suivantes : charge roulante de 45 t sur le bateau-porte 19 et une surcharge d'exploitation de 4 t/m² sur le musoir.

Le projet est soumis à de nombreuses contraintes :

→ Particulièrement celles liées à la nécessaire continuité d'exploitation de la base navale et du bassin Sud-Est ;

2- Dessin extrait de la visite d'avril 2018 et photographie du musoir Ouest de 2022.

3- Vue d'ensemble des Grands Bassins Vauban et du musoir à consolider (cercle rouge).

2- Drawing retrieved from the inspection of April 2018 and photograph of the West pier head in 2022.

3- General view of the large "Vauban" docks and the pier head to be consolidated (red circle).

→ Celles liées à la coactivité avec les activités propres à la base navale, engendrant possiblement des problèmes de phasage de travaux, de circulation de chantier et d'interférence avec les engins.

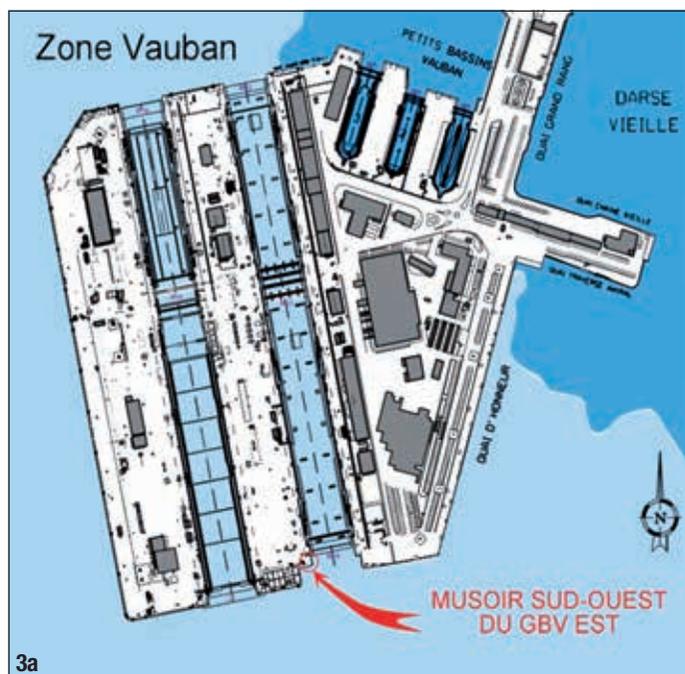
Le projet fait l'objet d'une déclaration IOTA, conformément aux articles L214-1 à L214-6 du code de l'environnement.

de chaux, il est nécessaire de prévoir une première phase de travaux permettant de conforter la zone de chantier, afin d'assurer un accès sécurisé aux engins de chantier. La technique proposée requiert la mobilisation d'une foreuse dont le poids total ne devra pas excéder 60 t compte tenu des contraintes de charge à respecter sur le bateau-porte central permettant l'accès à la zone de travaux.

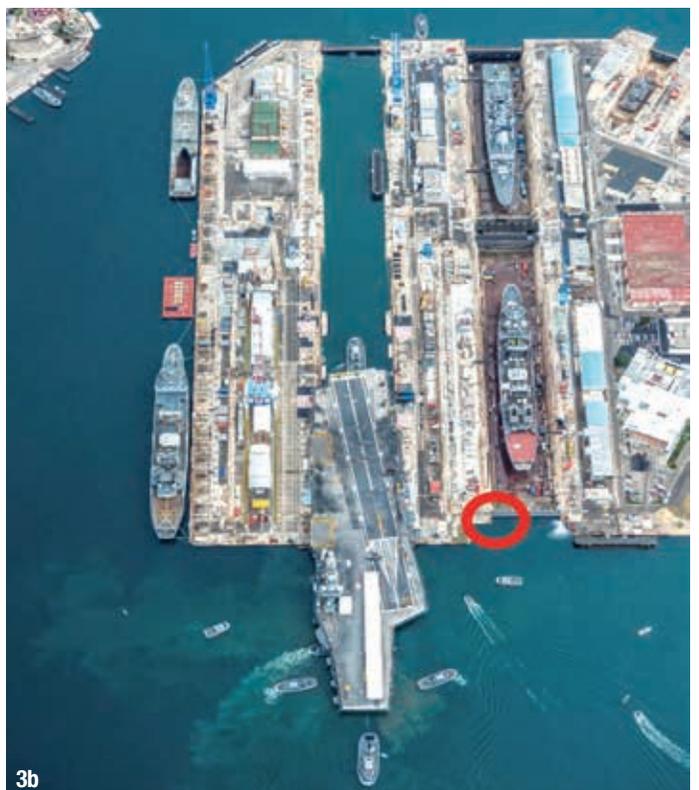
SOLUTION TECHNIQUE ENVISAGÉE

Compte tenu de l'érosion du parement, de l'état de fractionnement du massif et des passées non consolidées du béton

Cette première phase de stabilisation concerne une zone d'environ 150 m² située à l'arrière des quais Est et Sud et son objectif est de permettre de :



3a
© ESID



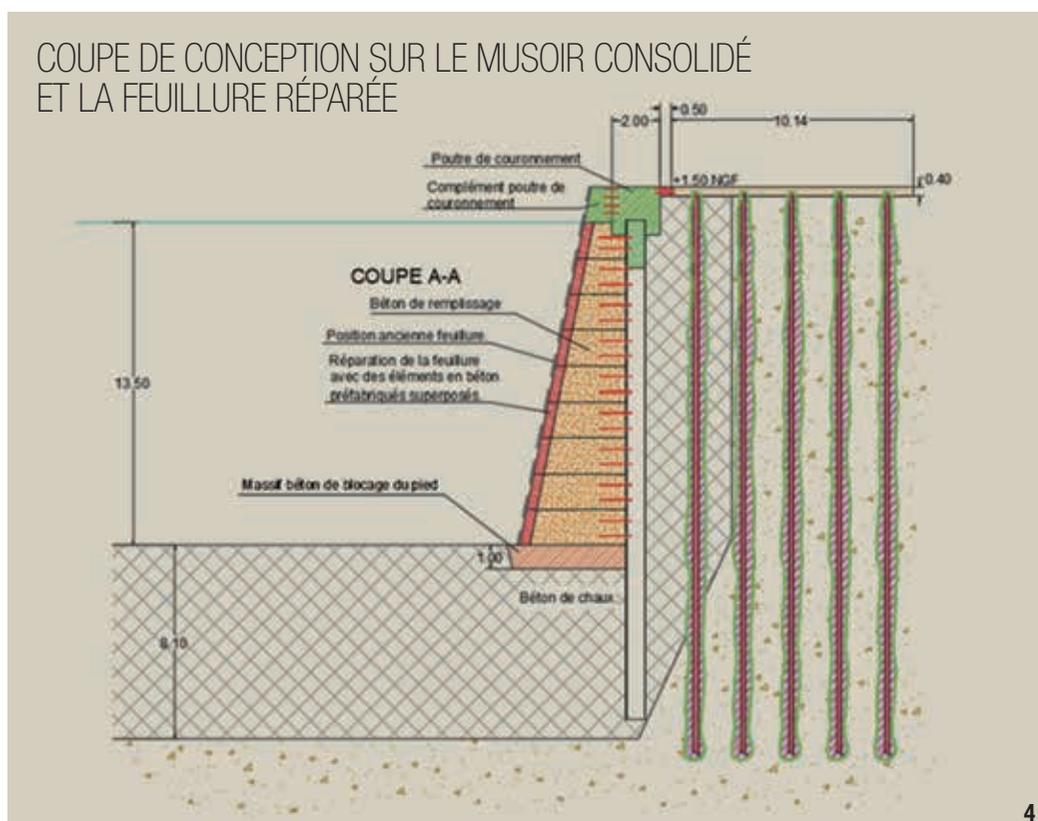
3b
© ESID

- Renforcer le sol par un maillage de micropieux type IV (2x2 m), sur toute la hauteur du remblai, et/ou béton de chaux (environ 23 m), en fonction de la position de la coque métallique ;
- Démolir l'ensemble des dallages et des enrobés afin de décaper le terrain sur 0,40 m ;
- Couler en place une dalle en béton armé de 0,40 m d'épaisseur sur toute la zone. Cette dalle aura deux fonctions :
 - En phase provisoire de chantier, elle permettra d'assurer la répartition des charges sur les micropieux lors de l'intervention des engins lourds de chantier, foreuses et pelle mécanique qui excavera l'ancien parement en pierre ;
 - En phase définitive, elle assurera la fonction de dalle de frottement. Elle sera reliée au couronnement de la nouvelle paroi, en vue de reprendre les efforts de traction en tête de l'ouvrage.

À l'issue de cette phase de sécurisation (figure 4), il est envisagé de réaliser une paroi verticale de soutènement, dont l'axe sera implanté 2 m en retrait de la magistrale actuelle, dans le but de confiner le terre-plein compte tenu des instabilités de la paroi de soutènement actuelle. Cette nouvelle paroi sera ancrée en pied dans le béton de chaux et/ou dans le terrain en place en fonction de sa position par rapport à la coque métallique et tenue en tête par le biais de la poutre de couronnement associée à la dalle de frottement.

La paroi verticale sera constituée de tubes métalliques forés et tangents, couronnée par une poutre massive en béton armé encastrée en tête des tubes. La poutre sera connectée à la dalle de frottement par le coulage en place de la zone de clavage périphérique assurant le transfert des efforts de traction. Pour assurer l'étanchéité du rideau entre les tubes métalliques de soutènement, et pour prendre en compte les tolérances en termes d'implantation et de verticalité, il est envisagé de réaliser entre chaque tube, au point de tangence, un forage sur la hauteur du plan d'eau (14 m) permettant d'exécuter une injection maîtrisée. Ce traitement complémentaire assurera l'étanchéité de la paroi entre les tubes afin d'éviter l'érosion du terrain, à l'arrière de la paroi, à cause de l'action de l'eau de mer et de la houle résiduelle sur le béton de chaux ou le remblai.

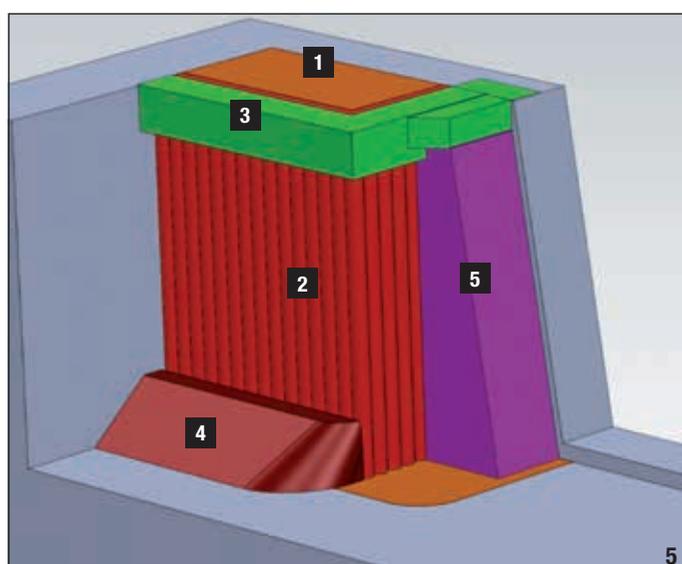
Après l'exécution complète de la paroi, il est envisagé (figure 5) :



→ La démolition par voie terrestre de la partie du quai située à l'avant de la paroi et son évacuation en décharge agréée. Le pied de la nouvelle paroi, le long du quai Est, sera protégé par un massif de blocage

en béton armé de 1 m d'épaisseur et 5 m de largeur, afin d'assurer la jonction avec le radier existant situé au pied du bateau-porte. Côté Sud, la protection sera assurée sur 12 m par un massif en enrochement ;

→ La reconstruction du parement devant la nouvelle paroi n'est pas envisagée, les tubes métalliques constituant une bonne protection du musoir. Néanmoins la zone située au droit du bateau-porte, aux abords de la feuillure, sera équipée d'un nouveau parement massif assurant le guidage du bateau-porte lors des manœuvres. Le nouveau parement sera reconstruit sur 4 m environ ; il présentera la même inclinaison que le parement existant, de l'ordre de 12,50°, et son épaisseur moyenne sera de 3 m. Il sera réalisé à partir de coques préfabriquées en béton armé qui seront assemblées entre elles au fur et à mesure de leur empilement. Ces coques seront



Référence	Désignation
1	Dalle génie civil sur micropieux
2	Tubes métalliques tangents de soutènement + colonnes d'étanchement
3	Poutre de couronnement
4	Enrochements de pied
5	Réparation de la feuillure

4- Coupe de conception sur le musoir consolidé et la feuillure réparée.
5- Vue 3D de la solution envisagée.

4- Design cross section on the consolidated pier head and the repaired rebate.
5- 3D view of the planned solution.



© SOLETANCHE BACHY FRANCE

fondées sur le nouveau radier et connectées à la paroi métallique. L'espace intérieur sera comblé en béton armé et surmonté en tête par une extension de la poutre de couronnement coulée en place. Cette poutre constituera le seuil sur le lequel reposeront les volets articulés couvrant la feuillure et assurant la jonction avec le bateau-porte ;

→ Les travaux concernent également les réseaux électriques et d'air comprimé, avec leur démontage en préalable des travaux et leur remontage à l'issue de ceux-ci. Il est à noter que le site des travaux comporte un bollard de manœuvre de 100 t dont la fonctionnalité devra être conservée.

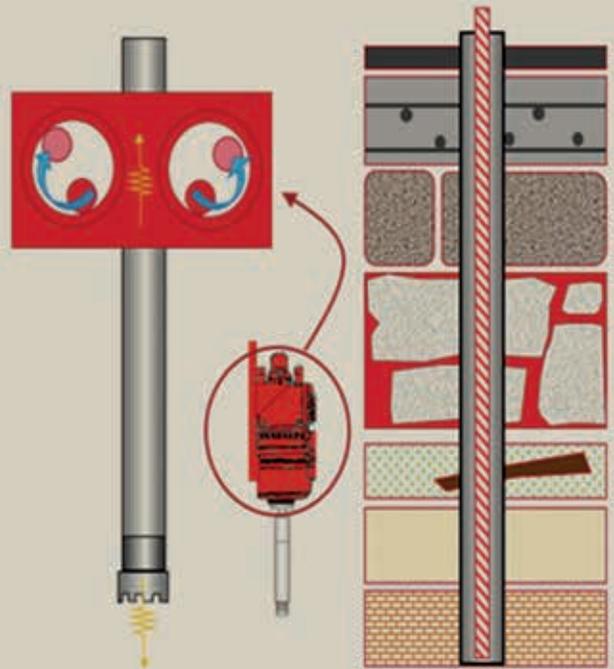
DES MÉTHODOLOGIES ADAPTÉES AU CONTEXTE DES TRAVAUX

Pour répondre aux différentes spécificités techniques de cette opération,

- 6- Phase de réalisation des micropieux par la technique de forage Hi'Drill.**
- 7- Principe du forage Hi'Drill - Forages de petits diamètres.**
- 8- Modélisation 3D du projet du Musoir avec la feuillure en vert.**

- 6- Phase of micropile execution by the Hi'Drill drilling technique.**
- 7- Hi'Drill drilling technique - Small-diameter drilling.**
- 8- 3D model of the pier head project with rebate in green.**

PRINCIPE DU FORAGE HI'DRILL - FORAGES DE PETITS DIAMÈTRES

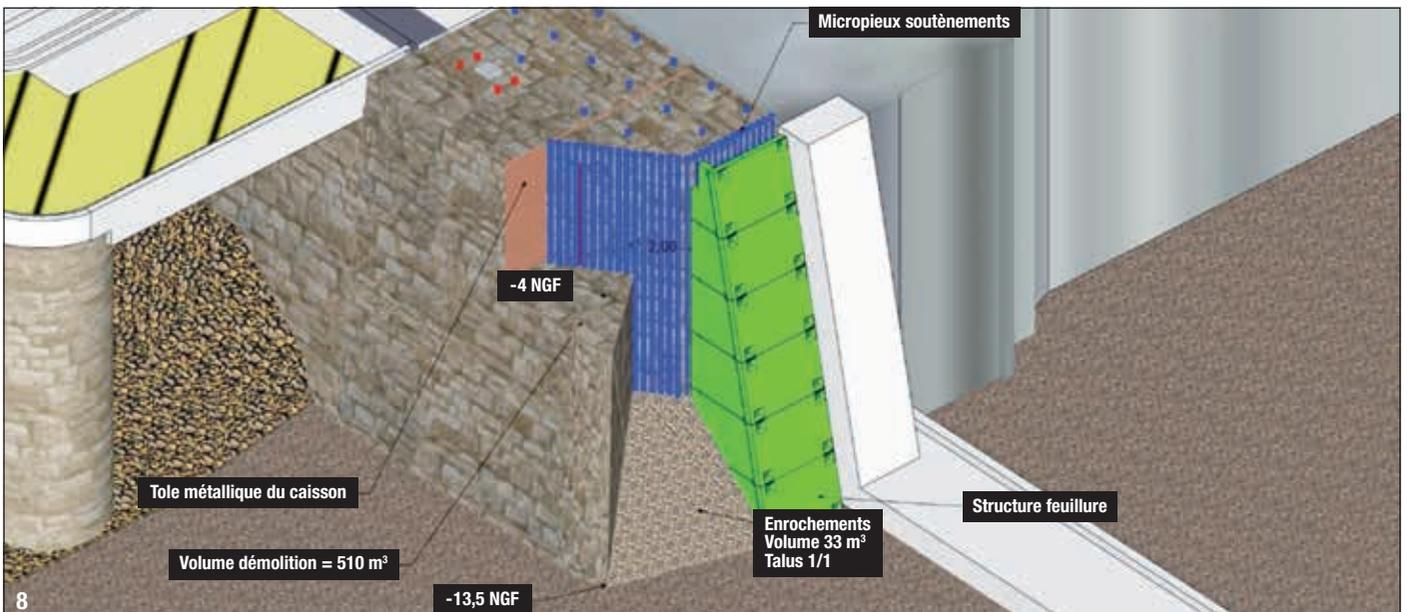


7 © SOLETANCHE BACHY FRANCE

le groupement d'entreprises en charge des travaux est constitué de Soletanche Bachy France (mandataire)/Vinci Construction Maritime et Fluvial/Soletanche Bachy Fondations Spéciales. Les compétences du groupement sont mobilisées pour réaliser à compter de l'été 2022 les opérations successives (figure 5) suivantes :

→ Les études d'exécution et travaux préparatoires (réseaux) ;

- Une dalle sur micropieux (en marron) pour assurer la stabilité de la foreuse de pieux en phase provisoire. En phase définitive, la dalle est liaisonnée à la poutre de couronnement ;
- Un soutènement (en rouge) en tubes métalliques tangents (future magistrale du nouveau musoir) ;
- Des colonnes d'étanchement interpieux ;



8 © VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

9- Représentation des closoirs permettant l'étanchéité de la structure avant bétonnage.

10- Synthétisation des opérations achevées.

9- Illustration of infill pieces providing structure water-proofing before concreting.

10- Synthesis of the completed operations.

- Le génie civil de la poutre de couronnement (en vert) et son clavage avec la dalle réalisée en première phase ;
- La démolition avec une pelle à long bras et la purge du musoir dégradé devant les pieux ;
- La réparation avec des moyens subaquatiques de la feuillure (en violet) accueillant le bateau-porte de fermeture du bassin.

Afin de minimiser, en cours d'exécution des travaux, le risque d'apparition de désordres supplémentaires sur l'existant, les procédés suivants ont été retenus : forage Hi'Drill pour les micropieux (figure 6), carottage au travers de la maçonnerie, fraise pour la démolition.

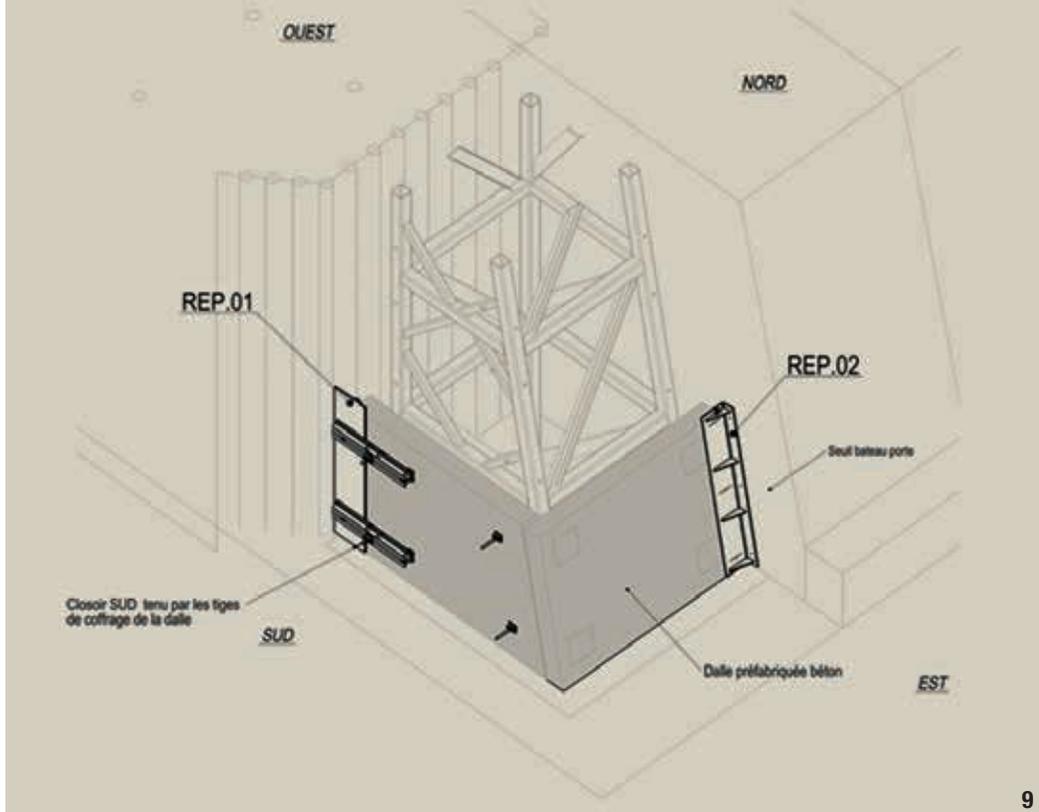
ZOOM SUR LE FORAGE HI'DRILL

Les effets de la résonance d'une tête Hi'Drill (système de balourds présentés en figure 7) permettent de traverser des terrains hétérogènes, des plus meubles aux plus durs, y compris du bois, du béton armé, de la maçonnerie et même, dans notre cas, des obstacles métalliques localement identifiés sur les sondages. Cette technique est ici particulièrement adaptée car elle ne risque pas d'aggraver les désordres existants (aucun recours à un dispositif de frappe). En phase EXE, compte tenu des constatations réalisées en début d'opération (présence de nombreuses structures anthropiques vestiges des différentes phases d'adaptation/modernisation des bassins Vauban), cette technique de forage Hi'Drill a également été étendue pour la mise en place des tubes constituant la future magistrale du musoir.

ZOOM SUR LA RÉPARATION DE LA FEUILLURE

La feuillure (figure 8), a pour but de guider le bateau-porte dans la bonne

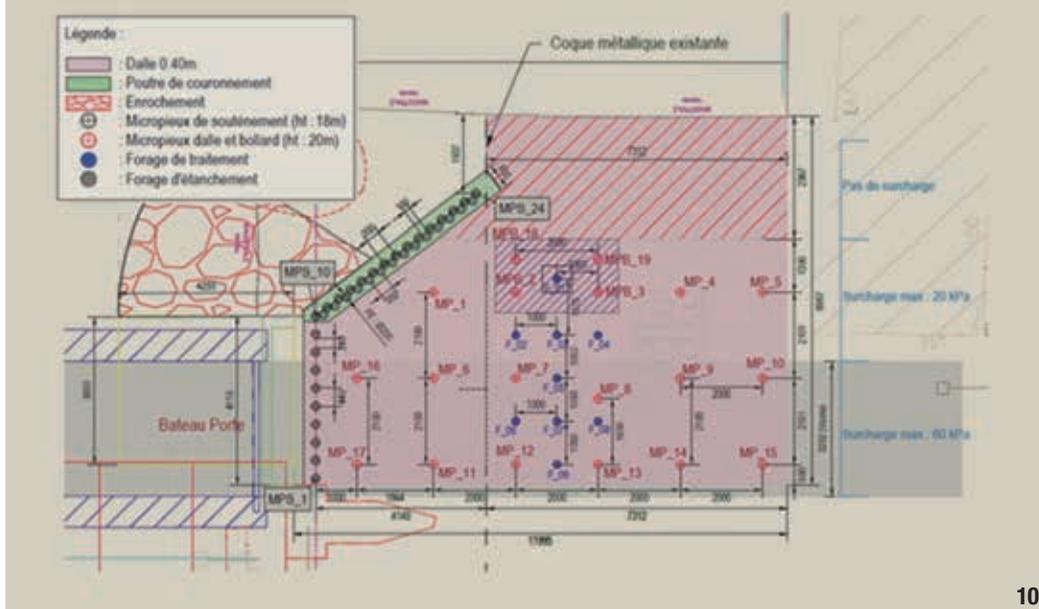
REPRÉSENTATION DES CLOISOIRS PERMETTANT L'ÉTANCHÉITÉ DE LA STRUCTURE AVANT BÉTONNAGE



9

© VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

SYNTHÉTISATION DES OPÉRATIONS ACHÉVÉES



10

© SOLETANCHE BACHY FRANCE

position permettant l'étanchéité du bassin lors de sa mise à sec et la circulation sur le pont avec une charge utile de 45 t.

Pour reproduire, au centimètre près, l'angle du parement, les techniques de mesures ont été multipliées : un relevé photogrammétrique, une bathymétrie

multifaisceau et un relevé in situ par plongeurs.

Grâce au recoupement de ces informations, le projet en 3D a pu être modélisé et la valeur d'angle souhaitée pour la reconstruction de la feuillure validée avec l'ensemble des intervenants. La feuillure est composée d'une struc-

ture métallique, fabriquée en atelier en carré creux de 200x200 mm, avec un système de contreventement en UPN 200 permettant de raidir la structure et de fixer des dalles béton préfabriquées qui serviront de coffrage lors du remplissage de la structure en béton.



© SOLETANCHE BACHY FRANCE 11

Le phasage de réalisation de la feuillure est le suivant :

- 1- Fabrication de la feuillure en atelier et transport de la structure par voie terrestre sur chantier. En parallèle, sur chantier, démolition de l'ancien parement maçonné à la pelle long bras muni d'une fraise et d'un brise-roche ;
- 2- Déchargement de la structure transportée à l'horizontale et retournement à la verticale à la grue ;
- 3- Mise en place de la structure dans l'eau à l'aide d'une grue mobile avec double treuils et aide à la manutention subaquatique par plongeurs. La structure est posée sur un béton de propreté réalisé au préalable dans une souille d'un mètre de profondeur ;
- 4- Réglage de la structure depuis la surface, grâce à 4 vérins hydraulique situés en pied de structure ;

11- Travaux réalisés à l'issue de la phase de sécurisation/confortement du musoir.

11- Work performed following the pier head securing/consolidation phase.

- 5- Fixation de la structure métallique en tête grâce à un guide fixé sur la dalle et bétonnage de la souille d'un mètre dans laquelle est posée la feuillure ;
- 6- Mise en place des dalles préfabriquées (figure 9) par plongeurs sur les 2 faces à coffrer et mise en place de closoirs métalliques contre l'existant permettant la

bonne étanchéité de la structure avant bétonnage ;

- 7- Bétonnage de l'intérieur de la structure à la pompe avec un béton C35/45 autoplaçant sur une hauteur de 2,50 m (hauteur des dalles de coffrage) ;
- 8- Répétition de la mise en place des dalles, closoirs et bétonnage sur les passes suivantes ;
- 9- Lors de la 6^e et dernière levée de bétonnage, la structure feuillure est connectée à la dalle. La dalle n'étant pas bétonnée sur une largeur de 1,20 m au droit de la feuillure, des aciers avec coupleurs sont mis en place avant bétonnage ;
- 10- Découpe des tiges de coffrage par plongeurs et comblement au mortier des trous de tiges afin d'avoir une surface lisse pour le bon guidage du bateau-porte.

ÉTAT DU CHANTIER

À l'issue de la première phase de travaux, dite de sécurisation du musoir, la vue en plan (figure 10) synthétise les opérations achevées consistant principalement en des travaux spéciaux :
 → Des traitements de terrains pour densifier le massif (injections de coulis et mortier) ;
 → Des micropieux portant la dalle génie civil de 40 cm ;
 → Des micropieux de soutènement surmontés d'une poutre de couronnement ;
 → Des colonnes d'étanchement entre les tubes de soutènement.

L'emprise de chantier a été temporairement libérée afin de permettre la maintenance du porte-avions Charles De Gaulle.

La seconde phase de travaux consistant en la réparation de la feuillure suivant la méthodologie présentée précédemment devrait commencer début 2024. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Esid

MAÎTRE D'ŒUVRE : Esid

AMO : Pierre Louis Conseils

GROUPEMENT : Soletanche Bachy France (mandataire) / Vinci Construction Maritime et Fluvial / Soletanche Bachy Fondations Spéciales

ABSTRACT

TOULON NAVAL BASE: CONSOLIDATION OF A DAMAGED PIER HEAD

MARC DURANTON, ESID DE TOULON - PIERRE LOUIS, PIERRE LOUIS CONSEILS - ROBIN BETEND, SOLETANCHE BACHY FRANCE - LÉA URIEN, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

The large "Vauban" docks of the Toulon naval base contribute to in-service support for the ships of the French navy. The pier heads of the Southeast dock are in an advanced stage of damage which requires work. Esid (Ministry of Defence) of Toulon appointed Pierre Louis Conseils to define a technical solution and commissioned a consortium led by Soletanche Bachy to carry out the works. This solution takes into account the structure's state of deterioration, but also the constraints of operation of the base. □

BASE NAVAL DE TOULON: CONSOLIDACIÓN DE UN MORRO DETERIORADO

MARC DURANTON, ESID DE TOULON - PIERRE LOUIS, PIERRE LOUIS CONSEILS - ROBIN BETEND, SOLETANCHE BACHY FRANCE - LÉA URIEN, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

Los Grands Bassins (grandes cuencas) Vauban, en la base naval de Toulon, contribuyen a mantener en condiciones operativas los buques de la marina nacional. Los morros de la cuenca Sudeste presentan deterioros avanzados que requieren obras. El Esid (Ministerio de Defensa) de Toulon ha solicitado a Pierre Louis Conseils el diseño de una solución técnica y ha encargado a un consorcio liderado por Soletanche Bachy la ejecución de las obras. Esta solución tiene en cuenta el estado de deterioro de la construcción, así como las exigencias operativas de la base. □



© MAÏA-SONNIER

LA PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE DE LA CNR À VALLABRÈGUES (30) - PRODUCTION D'ÉNERGIE VERTE ET PROTECTION PISCICOLE

AUTEURS : CAROLINE CARDOUAT, INGÉNIEURE TRAVAUX PRINCIPALE, MAÏA-SONNIER - QUENTIN MOREL, CHEF DE PROJETS PCH DE VALLABRÈGUES, COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE - STÉPHANE ARGENSON, DIRECTEUR DES TRAVAUX, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, RESPONSABLE DES ÉTUDES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

LA PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE VALLABRÈGUES DANS LE GARD ASSURERA, ENTRE LE RHÔNE ET SON AFFLUENT LE GARDON, LA PRODUCTION DE 60 GWH D'ÉLECTRICITÉ TOUT EN PRÉSERVANT LA FAUNE GRÂCE À UNE PASSE À POISSONS. CET OUVRAGE EN COURS DE RÉALISATION SERA CONSTRUIT À L'ABRI D'UNE ENCEINTE EN PARI MOULÉE DE 34 M DE PROFONDEUR, TRAVERSANT LES ALLUVIONS DU RHÔNE POUR S'ANCER DANS LES MARNES CONSTITUANT UN SUBSTRATUM PEU PERMÉABLE. LE PHASAGE DE RÉALISATION DES STRUCTURES INTÉRIEURES DOIT PERMETTRE LA MISE EN PLACE DE LA TURBINE AVANT FINALISATION COMPLÈTE DU GÉNIE CIVIL.

DESCRIPTION DU PROJET

À Vallabrègues (Gard), en bordure du Rhône et en amont de son barrage historique, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) construit une nouvelle petite centrale hydroélectrique (PCH) qui produira de l'électricité 100% verte et locale à partir de l'eau du Rhône. Elle

sera la plus productive de toutes celles construites par CNR dans la vallée, avec une puissance installée de 8,5 MW et une production annuelle attendue de 60 GWh, soit l'équivalent de la consommation de 26 000 personnes. À cette centrale hydroélectrique, CNR associe la construction d'une passe à

1- Vue d'ensemble des travaux - Fin mars 2023.

1- General view of the works - End of March 2023.

poissons qui améliorera la circulation des espèces piscicoles en leur facilitant notamment l'accès au Gardon, affluent du fleuve Rhône (figures 2 et 3).

Turbinant un débit de 84 m³/s, cette centrale fonctionnera à débit constant, au fil de l'eau, toute l'année. Les débits du Rhône seront captés et menés vers

une turbine Kaplan à axe vertical par l'intermédiaire d'un canal d'amenée. Une grille fine équipée d'un dégrilleur permettra de gérer les embâcles, mais également de mener les poissons vers un dispositif de dévalaison contournant l'ouvrage en direction de la restitution. Une fois turbinées, les eaux sont restituées au Gardon par l'intermédiaire du canal de fuite.

La passe à poissons, d'une longueur totale de 330 m, comprend 46 bassins permettant le franchissement de la hauteur de chute totale de l'aménagement, entre 10,19 et 11,26 m, du Gardon vers le Rhône. Un dispositif de vidéo-comptage permettra le suivi et la qualification des espèces transitant par l'ouvrage.

Les travaux ont démarré en 2021 avec la déviation de la route RD2 et la création du canal d'amenée. Ils se poursuivent depuis 2022 avec les phases principales de terrassement et de génie civil de la future centrale et de son bâtiment d'exploitation (figure 1).

Les premiers équipements électromécaniques seront livrés sur site à l'automne 2023. Les travaux de génie civil et d'électromécanique se poursuivront pour une mise en service prévue en début d'année 2026.

CONTEXTE HYDRAULIQUE ET GÉOTECHNIQUE

L'ouvrage à construire se situe sur la digue existante entre le Rhône et le Gardon à hauteur de Vallabrègues. Les cotes du terrain naturel varient de 17,5 NGF à 16 NGF en crête de digue. Le niveau final remblayé au droit de la PCH atteindra 18 NGF.



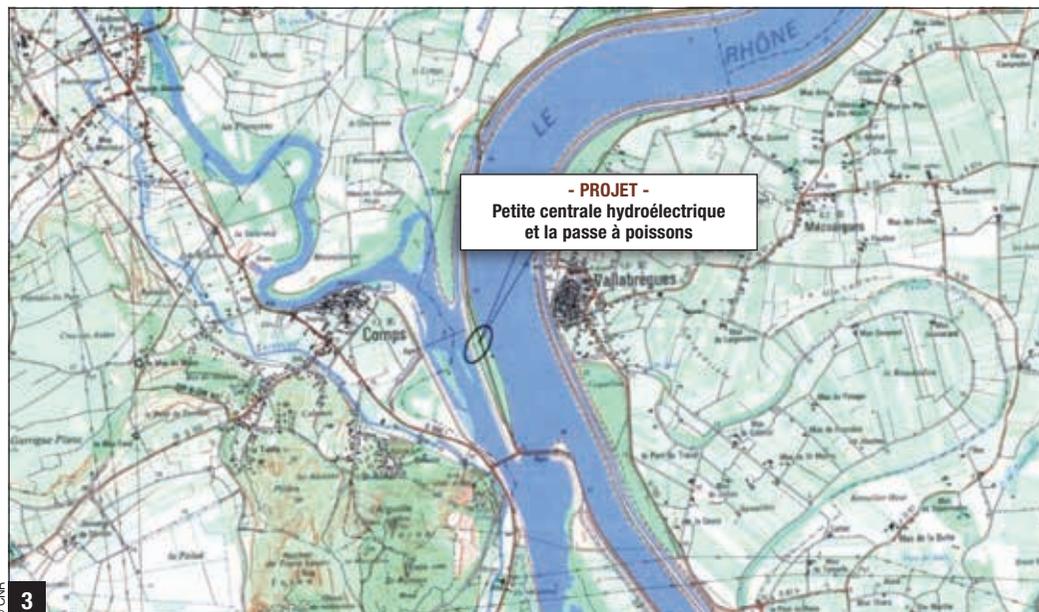
2- Principe général.
3- Localisation du projet.

2- General principle.
3- Project location.

Les écoulements dans la digue et les hypothèses sur la piézométrie sont conditionnés par les niveaux respectifs du Rhône et du Gardon.

En exploitation, coté Rhône le niveau d'eau en amont de la PCH est à la cote 15,98 NGF avec un niveau exceptionnel à 17,5 NGF.

À l'aval, coté Gardon, le niveau d'eau varie de 4,0 NGF au minimum à 15,58 NGF en crue millénaire du Gardon. Les mesures piézométriques dans la digue ont montré que le parement amont et le fond du Rhône étaient colmatés depuis la mise en eau de l'aménagement de Vallabrègues. Toutefois des venues d'eau au travers de ce colmatage peuvent modifier consi-



dérablement le fonctionnement piézométrique. Les hypothèses de niveaux d'eau retenues pour le dimensionnement des ouvrages, en phase travaux puis d'exploitation, prennent en compte les niveaux piézométriques maximaux pouvant être atteints.

Les reconnaissances géotechniques conduites conformément à la norme NFP 94-500 ont rassemblé au total 9 sondages carottés descendus jusqu'à 45 m de profondeur, 7 sondages destructifs avec essais pressiométriques, 13 essais d'eau en forage. Certains sondages ont reçu un équipement piézométrique.

Au droit du site, ces reconnaissances ont permis de définir le modèle stratigraphique suivant pour le projet :

- Une frange superficielle graveleuse composée de graves, galets et sables sur une épaisseur de 2 m environ ;
- Une épaisseur d'environ 6 m d'alluvions limoneuses constituées de limons plus ou moins sableux voire de sables limoneux pouvant comporter des graviers et galets dans la matrice limoneuse ;
- Ensuite, sur près de 22 m d'épaisseur, des alluvions à dominante graveleuse à granulométrie plus grossière constituée de sables, graves et galets ; ces matériaux présentent une compacité plus importante sur les 14 m inférieurs avec une pression limite de 4,3 MPa associée à un module pressiométrique de 60 MPa et une perméabilité de 10^{-2} m/s
- Enfin des marnes noires homogènes constituant le substratum et pouvant comporter des bancs de calcaire massifs.

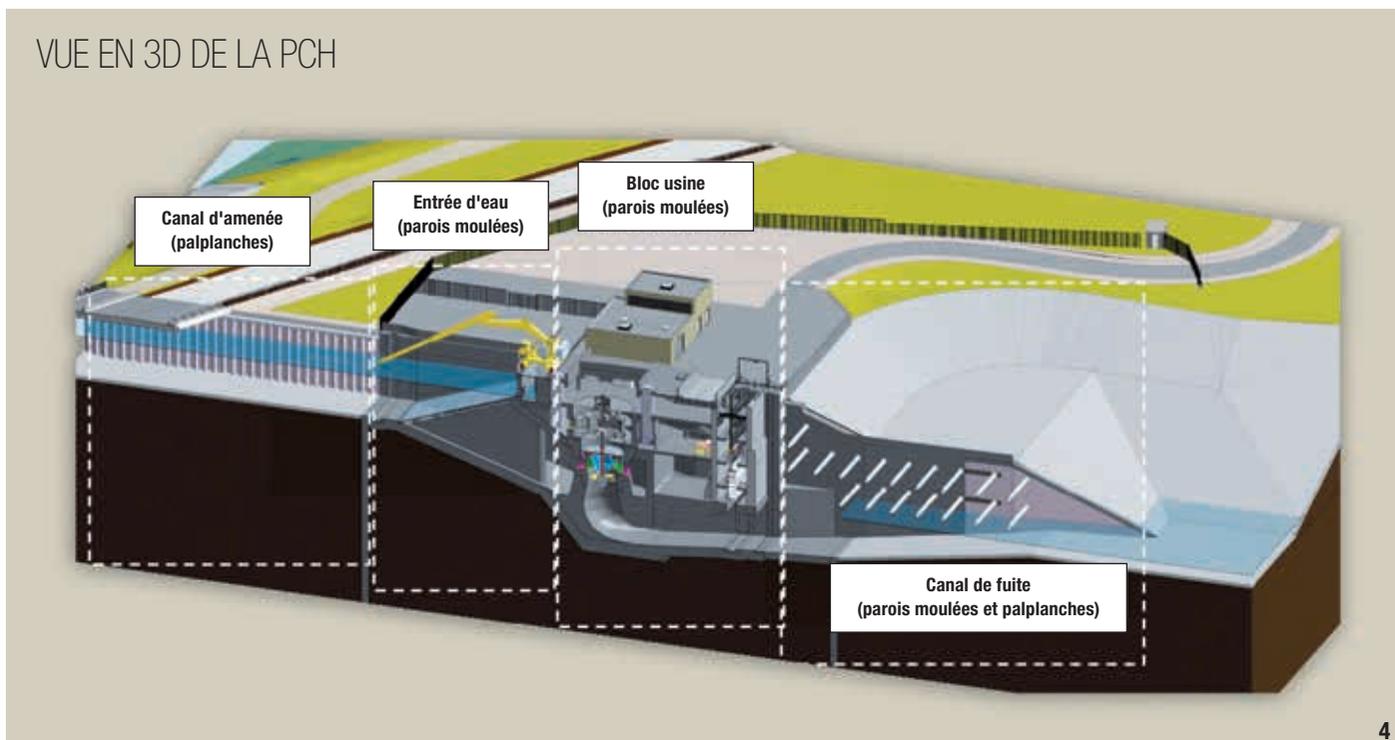
Afin d'assurer une mise au sec de l'enceinte durant les phases de travaux, les parois moulées et la paroi armée au coulis sont ancrées au minimum de 4,0 m dans le substratum marneux dont la perméabilité a été évaluée à 10^{-6} m/s.

CONCEPTION GÉNÉRALE PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

Au droit de l'ouvrage principal comprenant notamment l'usine de production d'électricité, la conception prévoit des soutènements en palplanches et en parois moulées.

La petite centrale hydroélectrique (PCH) est composée d'un canal d'amenée, d'un bloc de liaison-entrée d'eau, du bloc usine, d'un bâtiment annexe et d'un canal de fuite (figures 4 et 5) : ▷

VUE EN 3D DE LA PCH



4 © CNR

→ Le canal d'amenée amont est construit, à l'abri d'un soutènement en palplanches et d'une paroi moulée, à proximité du bloc usine de la centrale. Au niveau des rideaux de palplanches, les soutènements sont soit auto-stables, soit maintenus avec un ancrage à un contre-rideau. À la jonction palplanches/paroi moulée, le tympan amont provisoire, réalisé en paroi moulée de 0,82 m d'épaisseur, est rallongé pour réaliser des écrans anti-érosion de 5,0 m de longueur descendus à la profondeur des rideaux de palplanches (figures 6a et 6b).

L'étanchéité de la liaison est assurée par un encastrement de la dernière palplanche et une injection à l'arrière du rideau. À l'amont du tympan, un merlon de terre provisoire permettra le sciage de la partie supérieure de la paroi ainsi que les tests d'étanchéité du batardeau définitif. La partie inférieure de la paroi moulée du tympan sert d'écran anti-renard pour la phase d'exploitation.

La zone d'entrée d'eau constitue le raccordement au bloc usine et la circulation de l'eau doit être libre de tout obstacle fixe ; de ce fait, la conception de l'ouvrage prévoit la réalisation d'un niveau de tirants d'ancrage précontraints définitifs intégrés dans la réhausse en béton armé de la paroi moulée de 1,02 m d'épaisseur. Après les

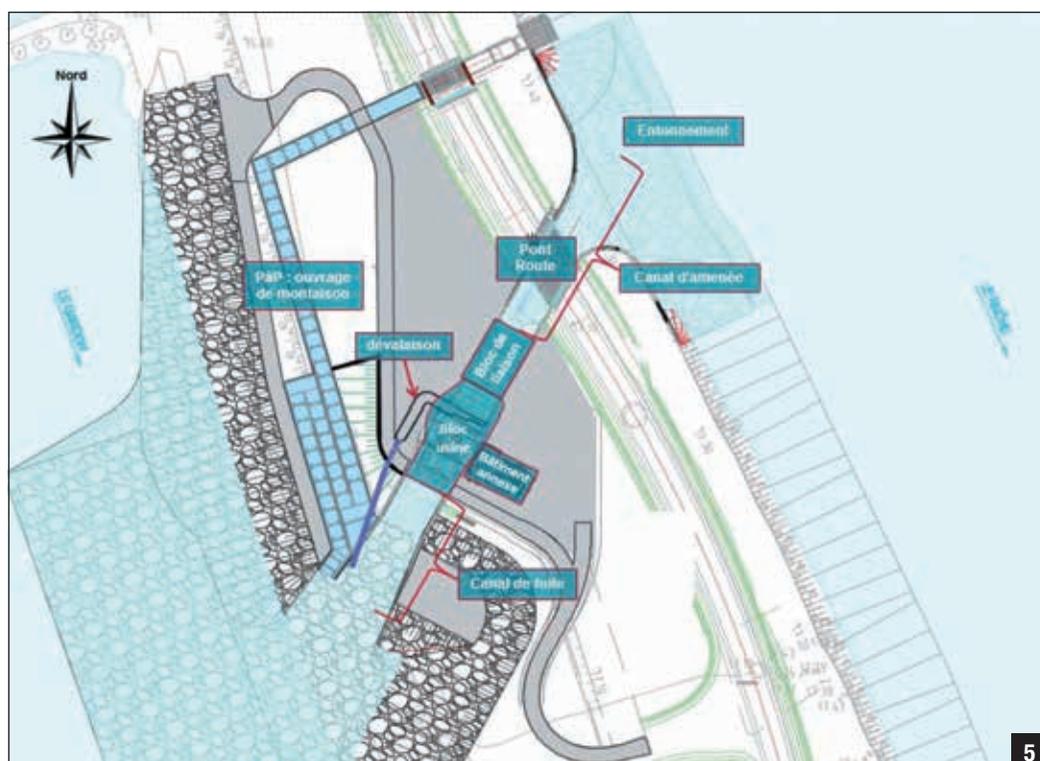
terrassements de l'enceinte, dont la hauteur maximale atteint 9 m dans cette partie, un radier en béton armé encastré aux parois moulées vient compléter les appuis des parois. Une mise à sec pour maintenance des équipements est prévue et la structure doit donc être conçue pour résister aux sous-pressions.

4- Vue en 3D de la PCH.
5- Vue en plan des ouvrages de génie civil.

4- 3D view of the station.
5- Plan view of civil works.

Un ouvrage spécifique dit de dévalaison doit permettre aux poissons engagés dans le canal d'amenée de la PCH de ne pas être retenus par les grilles fines équipées de dégrilleurs et de contourner l'ouvrage pour atteindre le Gardon.

→ Le bloc usine constitue le cœur de la centrale. Il abrite la salle des machines, la turbine ainsi que tous



5 © CNR



© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS
6a

les équipements auxiliaires, répartis dans les différents locaux en partie supérieure, aux niveaux 3,20 NGF, 10,04 NGF et 13,90 NGF. L'ensemble des butons provisoires dans la PCH sera remplacé à l'avancement par des structures en béton armé. Les éléments de structure reprenant les efforts transmis par les parois moulées seront les planchers dans la PCH ainsi que les différentes liernes en béton armé présentes au niveau de l'aspirateur. En partie aval, à l'extrémité de l'as-

6a & 6b- Vue en plan et photo de la paroi moulée.

6a & 6b- Plan view and photo of the diaphragm wall.

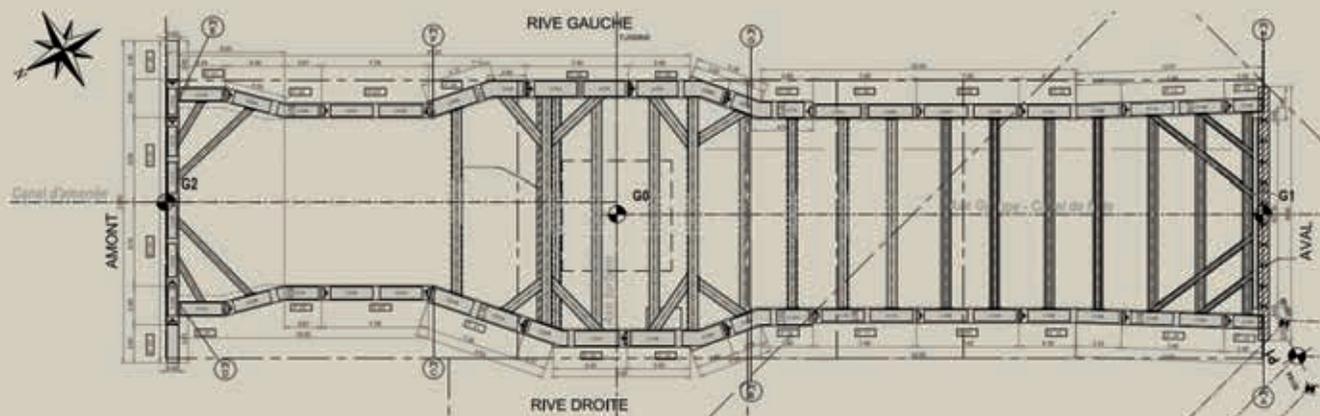
pirateur, l'usine se termine par le bloc de vannage aval : il s'agit de la structure accueillant les pertuis de vanne et le batardeau aval.

→ Le canal de fuite d'environ 50 m de long permet le rejet du débit

dans le Gardon ; sa forme est évasée et il comprend une partie en paroi moulée au-delà du bloc usine et une partie en palplanches. À proximité du bloc usine les parois moulées sont excavées sur environ 19 m de hauteur ; elles prennent appui sur 3 niveaux de butons métalliques dont deux seront définitifs et positionnés dans une zone immergée nécessitant une protection anti-corrosion spécifique. Au-delà du tympan provisoire, les terrassements du canal

de fuite sont exécutés à l'abri des palplanches, puis à l'avancement dans le lit du Gardon. Le tympan aval provisoire en paroi au coulis armée est situé à environ 25 m du bloc usine. Il est conçu pour une durée d'utilisation de plusieurs années comprenant notamment la mise en place du batardeau définitif à l'aval de l'usine ainsi que les tests d'étanchéité. Le tympan prend appui sur trois niveaux de butons d'angle ancrés dans les parois moulées en retour. ▷

VUE EN PLAN DE LA PAROI MOULÉE



© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS
6b

Le planning de la démolition doit prendre en compte un arrêté préfectoral qui interdit tout terrassement dans le Gardon du 1^{er} avril au 30 juin de chaque année. Le fond du canal sera constitué d'un radier en béton armé sur les 10 m en sortie d'usine puis au-delà d'enrochements formant une rampe de transition jusqu'au Gardon.

PASSE À POISSONS

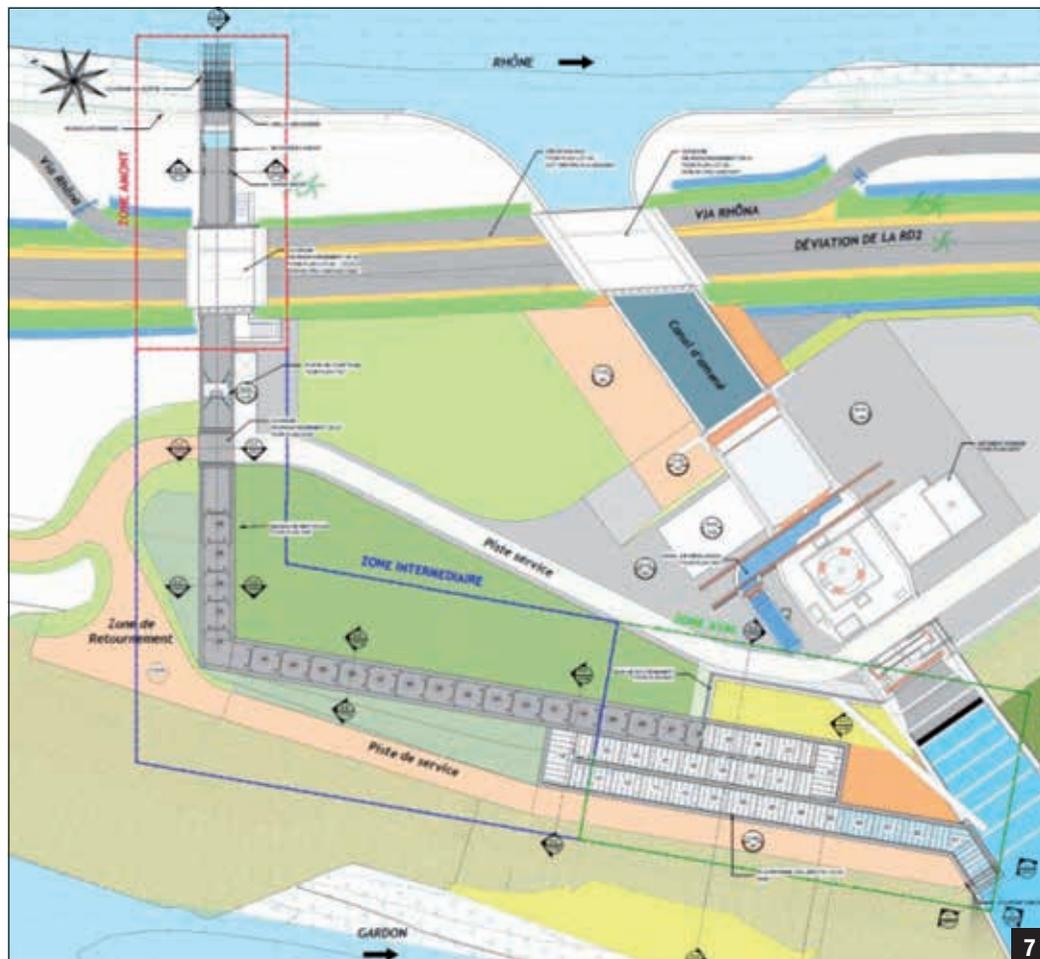
La passe à poissons (PAP) permet aux espèces locales de franchir un dénivelé d'environ 10 m sur 330 m de longueur pour une largeur de 4,70 m (figure 7). Elle est composée de 44 bassins et se décompose en trois parties (amont, intermédiaire et aval) :

7- Implantation de la passe à poissons.

8- Vue des installations de parois moulées.

7- Location of the fish pass.

8- View of the diaphragm wall installations.



7 © CNR



8 © MAIA SONNIER

- La partie amont constitue la sortie de la passe à poissons et intègre la vantellerie (batardeau et vanne), un masque de protection vis-à-vis de l'onde d'intumescence et la grille grossière ;
- La partie intermédiaire est composée d'un dispositif de comptage et d'un ouvrage de franchissement ;
- La partie aval constitue l'entrée de la passe à poissons avec l'intégration de la vantellerie.

Compte tenu des espèces présentes au barrage de Vallabrègues et des périodes de migration s'étalant de février à mi-novembre, la passe à poissons doit être fonctionnelle 80% du temps.

RÉALISATION DES TRAVAUX DE SOUTÈNEMENT

PAROI MOULÉE ET PAROI AU COULIS ARMÉE

L'enceinte représente un linéaire de 200 m de paroi moulée et des épaisseurs allant de 0,82 m pour le tympan amont, 1,22 m pour les parois de l'usine et 1,02 m pour le canal de l'amenée et le canal de fuite. Le forage des parois est réalisée à l'aide de bennes à câbles Stein montées sur porteur Liebherr HS855. Cet ensemble permet le passage des différents horizons de sol jusqu'à l'ancrage de 4 m dans les marnes qui s'est accompagné d'un suivi et d'une adaptation tout au long de la réalisation des parois moulées (figure 8). La manutention est assurée par une grue Sumitomo SC1500 d'une capacité de levage de 150 t. Le planning serré ainsi que les dimensions des panneaux conduisant à des volumes de béton à mettre en œuvre de 390 m³ ont conduit la CNR à imposer des contraintes organisationnelles et notamment la mise à disposition de 3 centrales à béton et d'un stockage en boues de forage de 1 200 m³. La démarche "Lean" adoptée pour les travaux qui se sont déroulés de juillet à octobre 2022 a permis de mieux anticiper les risques de rupture d'approvisionnement dans un contexte géopolitique complexe en Europe.

TIRANTS DÉFINITIFS

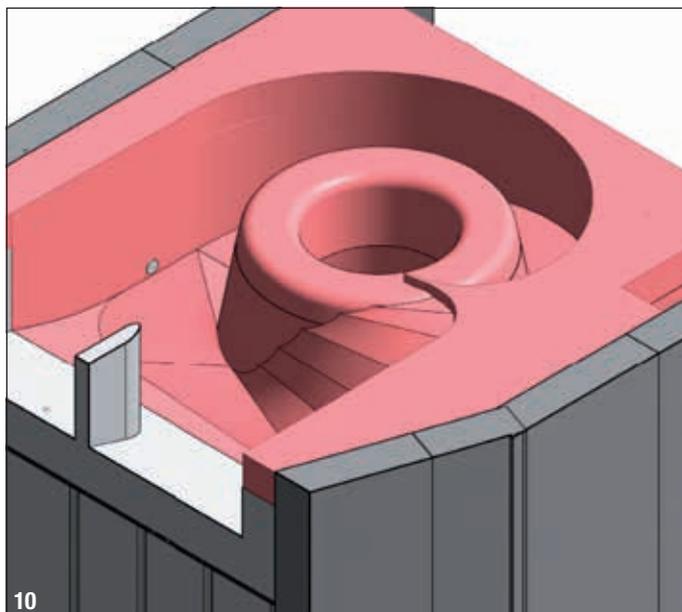
Les 20 tirants d'ancrage définitifs de 1 270 KN de capacité pour une longueur forée de 26,5 m ont été réalisés fin 2022 sous tubage avec un dispositif de forage à tête vibrante. Ils sont ancrés dans les alluvions limoneuses et sont tous équipés de têtes retensionnables. Afin d'éviter tous chocs avec des éléments charriés par le Rhône, les têtes de tirants devaient être encastrées et confinées dans la poutre en réhausse.



9- Vue des butonnages.
© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

10- Vue en 3D de la bache fronto-spirale.

9- View of staying.
10- 3D view of the spiral case.



10- © SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

une peinture époxy anti-corrosion protégée jusqu'à la fin des travaux (figure 9).

RÉALISATION DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

LA PCH

Le radier de la PCH représente 1 500 m³ de béton pour une épaisseur comprise entre 1,4 m et 1,6 m. Le béton est de type C30/37 XF1 C30 D22 CEMI PM 330 CL00.4 C, classe DS vis-à-vis du risque de la réaction sulfatique interne (RSI).

La mise en œuvre du béton pour les radiers fera l'objet d'une instrumentation afin de suivre les évolutions de température à cœur du bétonnage. Le radier amont, dans la partie d'ouvrage "entrée d'eau" présente une pente de 31,5° pour près de 500 m³ de béton.

Le remplissage de scellement autour du blindage métallique de l'aspirateur est réalisé, pour la partie basse, en béton autoplaçant avec des hauteurs de bétonnage variant de 60 cm à 1,0 m. La hauteur totale de bétonnage étant d'environ 7 m. Ce béton autoplaçant sera également soumis au risque RSI vis-à-vis des épaisseurs mises en œuvre. Le scellement de l'aspirateur représente un volume de près de 910 m³ de béton. Les voiles de la bache fronto-spirale seront réalisés en banches cintrables et coffrages bois sur mesure (figure 10).

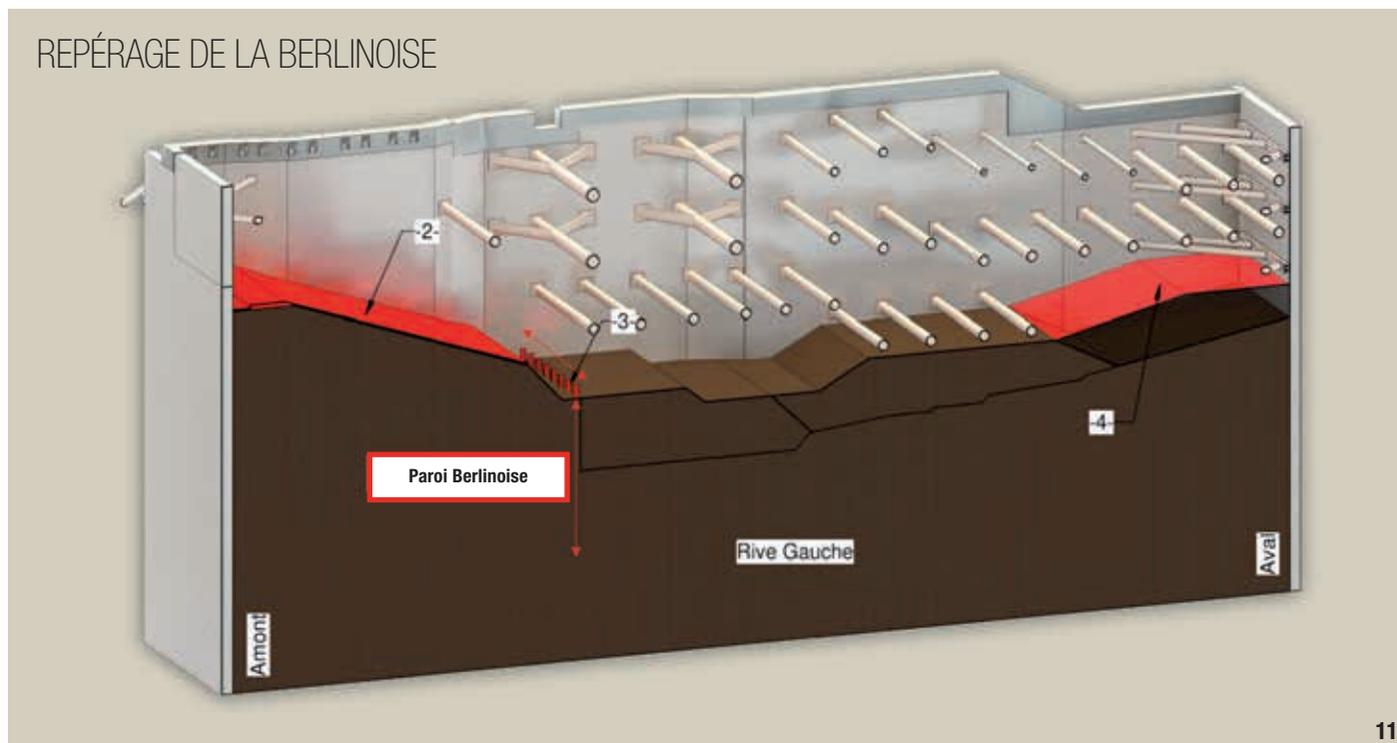
Une paroi berlinoise a été réalisée en fond de fouille de la PCH, sur la partie la plus pentue du radier, sous la turbine. Celle-ci a été battue au marteau Pajot 2800 monté sur la grue à tour. Un ensemble de 11 HEB 300 de 12 m a été mis en place (figure 11).

Cette phase a été contrainte par l'encombrement de l'ensemble des butons provisoires présents dans la zone de travail.

En tête de la paroi berlinoise sera réalisée une lierne en béton armé. Cette lierne de 16,30 m, ferrillée à près de 240 kg/m³, reprendra les efforts transmis par la berlinoise et les diffusera dans les parois moulées.

Au centre de la PCH, une surface de 100 m² est nécessaire pour la mise en place de l'aspirateur. Le blindage étant gruté entier depuis l'extérieur de la PCH, un volume libre de tout obstacle (butons notamment) doit être disponible. C'est pourquoi la réalisation d'un cadre butonnant sera effectuée. Il sera composé de 2 liernes (1 par rive) avoisinant les 16 m de long pour un ferrillage de plus de 350 kg/m³, ▷

REPÉRAGE DE LA BERLINOISE



11

© MAIA SONNIER

qui seront butonnées de part et d'autre par les ouvrages de la PCH (radier à l'amont et dalle à l'aval). Elles permettent de libérer l'espace de 100 m² sans présence de butons, nécessaire à la mise en place de la pièce du lot électromécanique.

En sortie d'aspirateur, la structure béton armé sera composée de 2 contre-voiles et une dalle de sortie d'aspirateur. L'en-

semble fonctionne comme une poutre qui permet de descendre les efforts de part et d'autre de l'aspirateur (figure 12).

LA PASSE À POISSONS

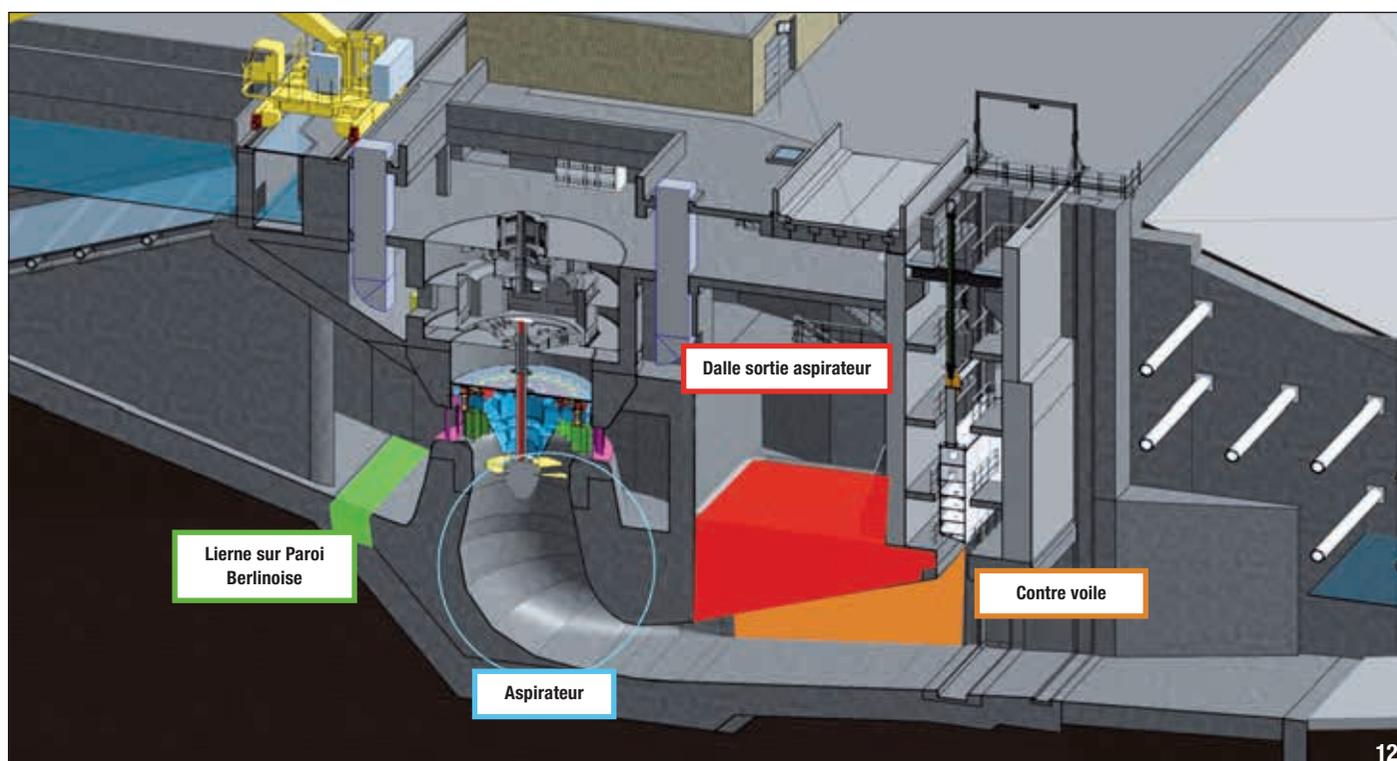
Le fond de la passe à poissons est composé à la fois de gros galets (15 à 20 cm) noyés à mi-hauteur dans une chape et de plots préfabriqués tronconiques espacés de 60 cm.

11- Repérage de la berlinoise.
12- Liernes et contrevoiles en béton armé.

11- Locating the Berlin-type retaining wall.
12- Reinforced concrete lierne ribs and retaining walls.

La partie intermédiaire a été exécutée en fouille ouverte avec la réalisation d'un radier et d'un voile en béton de 40 cm d'épaisseur. Les cloisons constituant les bassins ont été coulées en place avec un outil de coffrage spécifique (figures 13a et 13b).

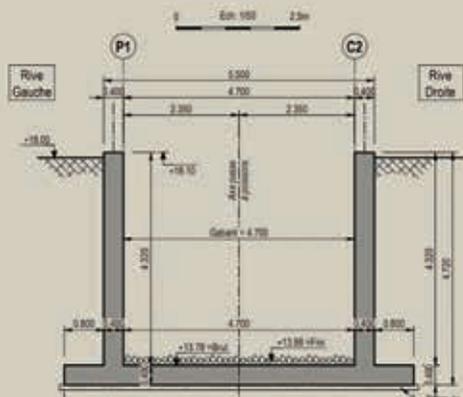
La partie aval de la passe à poissons étant à construire sous une hauteur d'eau de 10 m, le choix s'est porté sur la



12

© MAIA SONNIER

COUPE TYPE PASSE À POISSONS EN PARTIE INTERMÉDIAIRE



13a

© MAÏA-SONNIER

VUE EN PLAN DE LA PARTIE AVANT DE LA PASSE À POISSONS



13b

© MAÏA-SONNIER

13a & 13b- Coupe type de la passe à poissons en partie intermédiaire et vue en plan de la partie aval de la passe à poissons.

13a & 13b- Typical section of fish pass in the intermediate part and plan view of the downstream part of the fish pass.

réalisation d'enceintes en palplanches. Le fond de fouille de la PAP descendant jusque -3,5 m sous le niveau de la nappe phréatique, un pompage sera effectué à l'avancement du terrassement. La possibilité de mise en œuvre d'un béton immergé n'est pas exclue.

PRINCIPALES QUANTITÉS

POUR LA PARTIE SOUTÈNEMENTS :

- Profondeur des parois moulées : 34 m
- Volume béton : 2200 m³
- Poids d'armatures de paroi : 640 t
- Poids de butons et liernes : 210 t
- Surface de paroi au coulis : 630 m²
- Linéaire de tirants définitifs : 530 m

POUR LA PARTIE GÉNIE CIVIL :

- Béton : 7938 m³
- Acier : 900 t
- Coffrage : 11 610 m²
- Palplanches : 650 t
- Déblais : 86 000 m³
- Remblais : 11 500 m³
- Pose de blocs : 22 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : CNR - Direction de l'Ingénierie et Grands Projets

MAÎTRISE D'ŒUVRE : CNR - Direction de l'Ingénierie et Grands Projets

CONSTRUCTEURS : Maïa Sonnier / Spie Batignolles Fondations / Vinci Construction Maritime et Fluvial / Maia Fondations / Société des Carrières Vauclusiennes

Les palplanches sont de type GU18N à GU32N en paires pincées, de 10 à 16,57 m pour un tonnage de 650 t. La mise en fiche est réalisée au vibrofonceur 34HFV et sur battues au marteau Pajot 2800. Le sol est hétérogène avec quelques point durs (alluvions limoneuses sur 7 m puis alluvions graveleuses compactes).

Suivant le phasage de terrassement progressif des différents casiers de la PAP, un butonnage en HEB 400 sera mis en œuvre. Les butons seront repris sur les poutres de couronnement présentes en tête des palplanches. Celles-ci se comporteront de la même manière que des liernes. Au niveau de l'entrée de la PAP (à l'aval) le terrassement étant plus conséquent, un double niveau de butonnage sera effectué, permettant ainsi d'obtenir une hauteur libre de 9,00 m. □

ABSTRACT

SMALL HYDROPOWER STATION OF THE CNR AT VALLABREGUES - GREEN ENERGY PRODUCTION AND FISH PROTECTION

CAROLINE CARDOUAT, MAÏA-SONNIER - QUENTIN MOREL, COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE - STÉPHANE ARGENSON, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

Compagnie Nationale du Rhône is building a small hydropower station between the Rhône and the Gardon. Its annual electricity production will correspond to the consumption of 26,000 people. The diaphragm walls 34 metres deep pass through the alluvia and are anchored 4 metres deep in weakly permeable marls. Sheet piling provides a retaining structure for the entrance and outlet channels. At the turbine level, installation of the suction device shielding requires a free surface area of 100 m². Due to the risk of internal sulphate reaction of the 2,300 m³ of the invert concrete and sealing of the shielding, a specific mix design and instrumentation were required for these concretes in order to monitor subsurface temperature changes. A 330-metre fish pass will allow fish species to pass between the two watercourses. □

LA PEQUEÑA CENTRAL HIDRÁULICA DE LA CNR EN VALLABREGUES (30) - PRODUCCIÓN DE ENERGÍA VERDE Y PROTECCIÓN PISCÍCOLA

CAROLINE CARDOUAT, MAÏA-SONNIER - QUENTIN MOREL, COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE - STÉPHANE ARGENSON, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) está construyendo una Pequeña Central Hidroeléctrica entre el Ródano y el Gardon. Su producción anual de electricidad corresponderá al consumo de 26 000 personas. Las paredes de hormigón de 34 m de profundidad atraviesan los aluviones para anclarse 4 m en margas poco permeables. Los canales de entrada y descarga están contenidos por tablestacas. Frente a la turbina, la instalación del blindaje del aspirador requiere una superficie libre de 100 m². El riesgo de reacción sulfática interna de los 2300 m³ de hormigón de la solera y del sellado del blindaje ha exigido una formulación específica y una instrumentación de los hormigones para monitorizar la evolución de las temperaturas internas. Una escala de peces de 330 m permitirá la circulación de las especies piscícolas entre los dos cursos de agua. □

GIROS : DES JUMEAUX NUMÉRIQUES DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

AUTEURS : VINCENT LALIRE, RESPONSABLE DE LA TRANSFORMATION À LA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE DIGITALE, EGIS - BÉNÉDICTE AUTHIE, EXPERT SIG, EGIS - JEAN-BAPTISTE SAULNIER, EXPERT MODÉLISATION HYDRO-SÉDIMENTAIRE, EGIS - FABRICE KLEIN, CHARGÉ D'INNOVATION, GRAND PORT MARITIME DE BORDEAUX

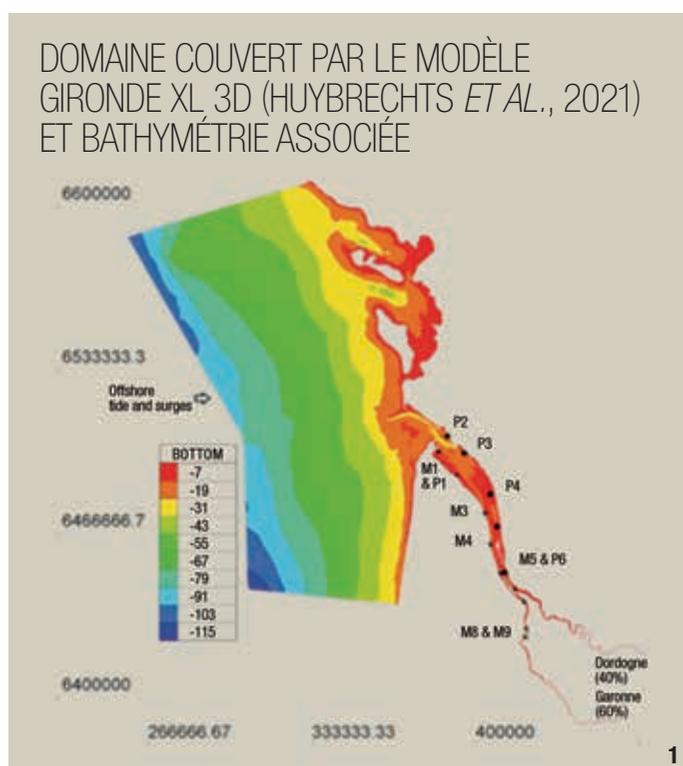
EGIS, OSLANDIA ET FIELDBOX ONT DÉVELOPPÉ GIROS, DES JUMEAUX NUMÉRIQUES DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE POUR ACCOMPAGNER LES DÉCISIONS DE GESTION ET DE CONCEPTION DES INFRASTRUCTURES POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE SUR LA DORDOGNE, LA GARONNE ET L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE, DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE.

ESTUAIRE DE LA GIRONDE

La Région Nouvelle-Aquitaine dispose du plus vaste estuaire d'Europe. Cette voie de communication historique est également un espace remarquable par ses richesses au sein duquel de nombreuses activités cohabitent (tourisme, pêche, navigation de commerce, culture...).

Le Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB), à l'intérieur de sa circonscription de 130 000 ha, est à la fois gestionnaire du Domaine Public et aménageur du territoire. Ainsi, les actions du port sont guidées par la nécessité de trouver l'équilibre entre préservation écologique et développement économique.

Le Gpmb travaille depuis de nombreuses années à l'amélioration de la connaissance du fleuve et de son estuaire grâce à son instrumentation (réseau marégraphique, courantomètres), à ses campagnes de mesures bathymétriques et à l'enrichissement de modèles numériques (Gironde XL 3D). Plus globalement, il poursuit et structure les travaux de recherche et de développement sur ces thématiques en développant des projets collaboratifs en réponse à différents appels à projets de niveau national et européen (Anr, Ademe pour le national, Interreg, Cef et Horizon 2020 pour l'europpéen).



1- Domaine couvert par le modèle Gironde XL 3D (Huybrechts *et al.*, 2021) et bathymétrie associée.

1- Field covered by the Gironde XL 3D model (Huybrechts *et al.*, 2021) and associated bathymetric map.

raît désormais essentiel que les acteurs régionaux se fédèrent afin de mobiliser cette révolution numérique pour développer, au sein de leur métabolisme, la résilience régionale nécessaire afin de s'adapter le plus rapidement possible aux impacts climatiques de demain, et chercher à en atténuer leurs effets, dans un contexte de frugalité budgétaire.

CONCEPTION DU PROJET

En sachant que de nombreuses entités travaillent également sur ces thématiques avec des contraintes similaires, le Gpmb propose aux acteurs de l'eau de mutualiser leurs efforts pour créer d'ici 2025 des jumeaux numériques du fleuve opérationnels, performants et

Ces projets ont démontré que l'urgence imposée par les enjeux du changement climatique sur les ressources en eau et le milieu implique une mobilisation encore plus forte autour de la Garonne et de l'Estuaire de la Gironde.

Alors que les premiers impacts du changement climatique sont déjà visibles, l'essor du numérique offre des solutions d'études et d'anticipation des changements à venir, de réduction de la vulnérabilité des territoires. Il appa-

faciles d'accès. Ceux-ci seront notamment utilisés pour la simulation du comportement de la Garonne, de la Dordogne et de l'Estuaire de la Gironde afin d'explorer, à travers divers scénarios, les impacts des évolutions de certains paramètres - comme le débit amont, ou encore la turbidité qui alimente le bouchon vaseux - qui menacent tant la vie aquatique que la navigation. Les objectifs principaux de ces outils numériques sont de donner aux opérationnels des outils d'aide à la décision pour la gestion du métabolisme du territoire :

- Partager et développer les connaissances scientifiques et physiques du fleuve ;
- Favoriser les échanges de données et de résultats opérationnels avec d'autres structures ;

2- Architecture du modèle hydro-sédimentaire et qualité d'eau 3D de Giros.

3- Architecture du modèle de propagation d'état de mer sous influence de la marée de Giros.

2- Architecture of the Giros hydro-sedimentary and water quality 3D model.

3- Architecture of the Giros model of propagation of the state of the sea under the influence of the tide.

- Proposer des outils d'aide à la décision pour atténuer l'influence des activités sur le milieu ;
- Organiser la surveillance du littoral et du fleuve (submersion, inondation, qualité de l'eau, préservation de la vie aquatique, ...) et les dispositifs d'alerte ;
- Anticiper les effets du changement climatique et chercher des solutions d'atténuation et de réduction de la vulnérabilité du territoire ;
- Développer l'économie durable sur le fleuve et l'estuaire.

Le projet a été lancé sous la forme d'un partenariat d'innovation, dont l'appel d'offre s'est appuyé à la fois sur une candidature en vidéo, un hackathon (pour la première phase d'offre) et une proposition de maquettage (pour la

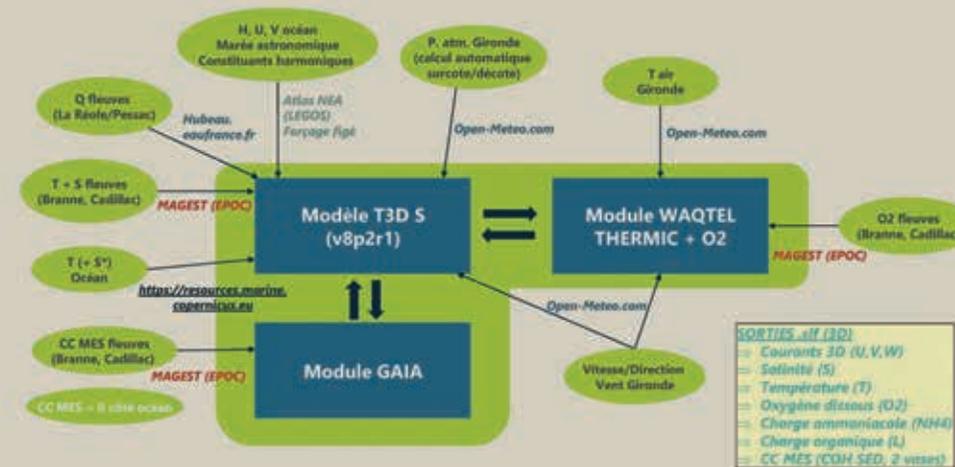
seconde phase d'offre). Egis a fédéré une équipe performante en associant ses compétences métier et ses compétences transverses avec celles de partenaires IT (Oslandia et Fieldbox) pour se distinguer et remporter le développement du projet.

DU MODÈLE AUX JUMEAUX NUMÉRIQUES

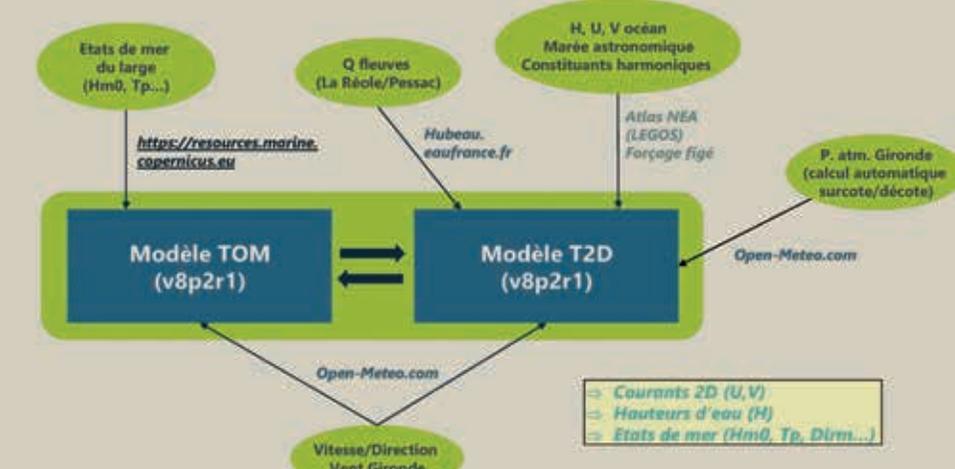
Les Jumeaux Numériques s'appuient sur l'exploitation d'un modèle hydro-sédimentaire et de qualité d'eau tri-dimensionnel, construit avec la suite logicielle open source nommée open Telemac-Mascaret. Ce modèle régional, couvrant l'intégralité de l'estuaire de la Gironde et ses affluents (jusqu'à Pessac-sur-Dordogne et La Réole, sur la Garonne) ainsi qu'une partie du Golfe de Gascogne (des pertuis charentais au nord jusqu'aux plages des Landes au sud (figure 1)) a été développé dans le cadre des projets de R&D Gironde XL (2017-2018) puis Anr Emphase (2020 -2023) sous forme d'un couplage entre les modules Telemac3D (hydrodynamique 3D) et Gaia (sédimentaire). Maintenu aujourd'hui par le Cerema (Huybrechts *et al.* 2021), il a pour vocation de valoriser la connaissance scientifique acquise sur le terrain, notamment au travers du réseau de données de surveillance estuarienne Magest et l'expertise des chercheurs du laboratoire Epoc de Bordeaux. Un tel modèle, fournissant la connaissance des courants 3D, niveaux d'eau, salinité et turbidité dans l'estuaire, est donc l'outil central ayant motivé le projet des Jumeaux Numériques de la Gironde. Notre équipe a développé l'intégration de sept nouveaux paramètres dans la modélisation hydro-sédimentaire de la Gironde afin de mieux prendre en compte les conséquences du changement climatique sur le milieu naturel. Le modèle original a été repris puis étendu notamment par :

- L'adjonction d'un module de qualité d'eau (Waqtel) couplé au modèle d'origine, permettant de simuler le devenir de traceurs tels que la température, la concentration en oxygène dissous, la charge organique et la charge ammoniacale dans l'estuaire ;
- La construction - sur le même maillage que Gironde XL 3D - d'un modèle de propagation d'état de mer depuis le large avec le module Tomawac (propagation de l'action spectrale), couplé au module Telemac2D pour la modélisation de la propagation de l'onde de marée

ARCHITECTURE DU MODÈLE HYDRO-SÉDIMENTAIRE ET QUALITÉ D'EAU 3D DE GIROS



ARCHITECTURE DU MODÈLE DE PROPAGATION D'ÉTAT DE MER SOUS INFLUENCE DE LA MARÉE DE GIROS



(équations de Saint-Venant) : ce modèle couplé permet ainsi de calculer, entre autres, la hauteur significative et la direction de la houle, variables selon le niveau d'eau et l'interaction avec les courants, en tout point du domaine.

La connaissance de ces paramètres permet de fournir une information complète, à jour et prévisionnelle à chacun des Jumeaux Numériques de l'application Giros.

La mise en œuvre de ces deux modèles a fait l'objet de nombreux tests dans le cadre de la phase qualificative du projet Giros (printemps 2022).

La paramétrisation opérationnelle a été stabilisée à l'issue de cette phase et doit être confiée, in fine, à un comité scientifique dédié pour la gestion des évolutions opérationnelles, notamment au travers du retour d'expérience de la communauté des utilisateurs.

DÉVELOPPEMENTS DES MODÈLES TELEMAC MASCARET

Deux modèles principaux sont ainsi au cœur de l'application Giros :

- Le modèle hydro-sédimentaire et qualité d'eau Telemac3D-Gaia-Waqtel, pour la connaissance des caractéristiques physiques et biogéochimiques de l'estuaire ;
- Le modèle de propagation Tomawac-Telemac2D, pour la connaissance des paramètres d'état de mer sous l'effet de la marée.

L'architecture de chacun des modèles est illustrée sur la figure 2 et la figure 3, respectivement. Les deux modèles couvrent le même domaine illustré sur la figure 1 et travaillent sur le même maillage, avec la méthode des éléments finis (bibliothèques de calcul de la suite open Telemac-Mascaret). Les sources de forçages (ou conditions aux limites) des modèles sont détaillées ci-dessous :

- Niveaux d'eau et vitesses des courants liés à la marée aux frontières maritimes : atlas Nea du Legos (46 constituants harmoniques interpolés), permettant de simuler n'importe quelle période historique ;
- Débits des affluents (Garonne, Dordogne) : observations hydro-métriques à La Réole et Pessac accessibles via les services API de la plateforme Hub'Eau (<https://hubeau.eaufrance.fr/>) ;
- Données atmosphériques (vitesse du vent, température de l'air, pression) : prévisions et réanalyses optimisées (Eras, Cerra, Météo-France, ...) du service Open-Meteo (<https://open-meteo.com/>) ;

- Température et salinité de l'eau : côté mer, prévisions et réanalyses du modèle physique océanique IBI de résolution 0.028° du programme Copernicus - côté fleuves, données disponibles du réseau de surveillance Magest (stations Branne, Libourne, Cadillac, ...) ;
- Oxygène dissous, charge ammoniacale, ... : côté mer, prévisions et réanalyses des modèles biogéochimiques océaniques IBI de résolution 0.028° et 0.083° du programme Copernicus - côté fleuves, données disponibles du réseau de sur-

- veillance Magest (stations Branne, Libourne, Cadillac, ...) ;
- Turbidité : côté mer, flux nul - côté fleuves, concentration des fractions de fines selon des lois empiriques dédiées, fonction du débit sur chaque fleuve ;

- Paramètres d'état de mer : prévisions et réanalyses du modèle d'état de mer océanique IBI de résolution 0.05° du programme Copernicus.
- Les fichiers de forçage des modèles sont générés par des scripts automa-



4- Page d'accueil.

5- Accès aux modules.

6- Garonne 2050 (tendance d'évolution du fleuve à long terme).

7- Caractéristiques du milieu (prévision des caractéristiques physico-chimiques du fleuve).



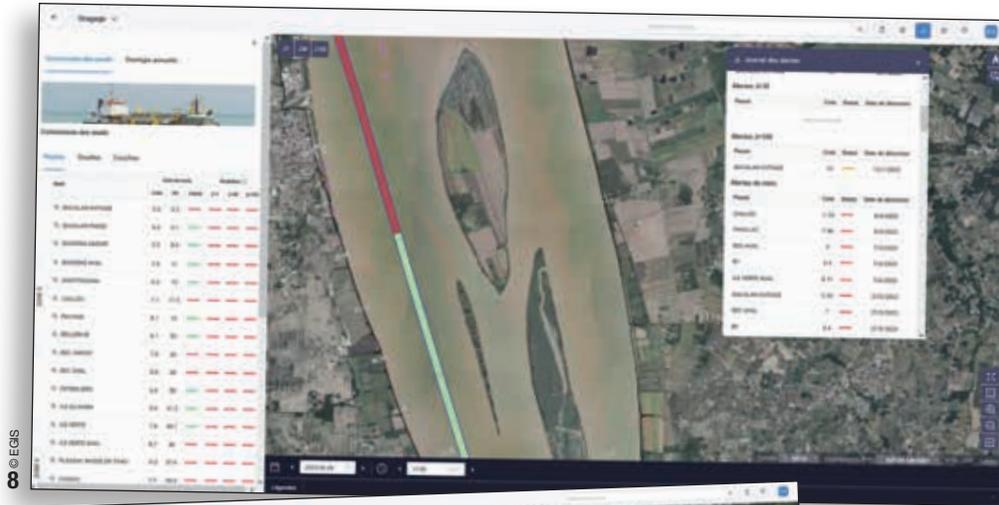
5



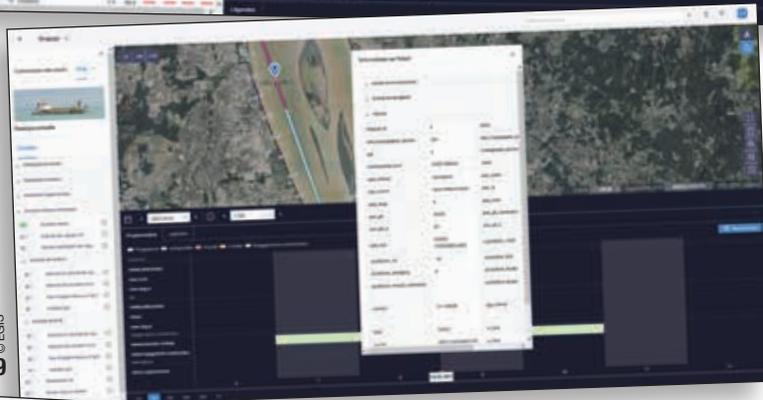
6



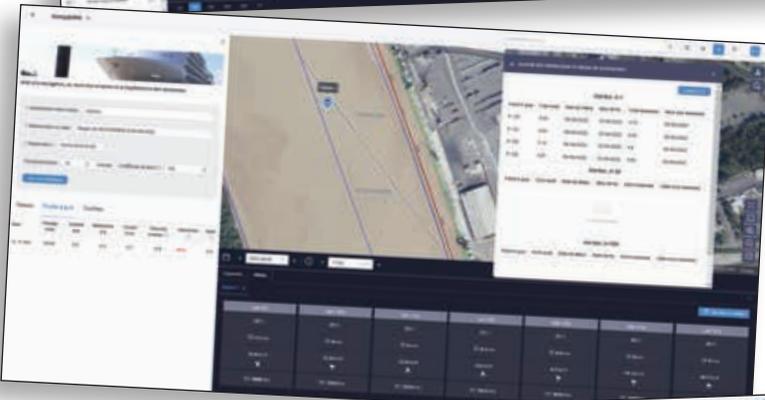
7



8 © EGIS



9 © EGIS



10 © EGIS



11 © EGIS

UN OUTIL POUR TOUS

Egis a piloté la production de Giros en méthode agile et co-construit ce projet ambitieux avec l'ensemble des parties prenantes : Grand Port Maritime de Bordeaux, représentants des métiers liés au fleuve, gestionnaires de l'eau, agence de l'eau et scientifiques.

Egis anime une communauté qui fédère l'ensemble des parties prenantes (gestionnaires de l'eau, collectivités, usagers, entreprise prélevant de l'eau, ...) afin de se projeter ensemble dans un développement durable.

En portant le développement des outils numériques en open source (avec le concours d'Oslandia et de Fieldbox), Egis a permis l'émergence de modules complémentaires dont les objectifs sont, en premier lieu, de communiquer à chacun la tendance d'évolution de l'estuaire de la Gironde, puis de permettre aux gestionnaires des différents bassins versants de partager une vision commune des conséquences de leurs actions, comme illustré sur la figures 4 et 5. Les modules liés à la connaissance de l'évolution du fleuve modules sont : Garonne 2050 (tendance d'évolution du fleuve à long terme) (figure 6) ; Caractéristiques du milieu (prévision des caractéristiques physico-chimiques du fleuve) (figure 7).

Grâce à eux, il est possible de développer davantage les connaissances scientifiques et physiques du fleuve et de partager aisément les données et résultats opérationnels avec d'autres structures.

Ces outils contribuent à atténuer l'influence des activités sur le milieu, en organisant efficacement la surveillance du littoral et du fleuve (submersion, inondation, qualité de l'eau, préservation de la vie aquatique, ...), notamment à travers des dispositifs d'alerte.

FACILITER LA PRISE DE DÉCISION

Les jumeaux numériques constituent également pour les opérationnels de précieux outils d'aide à la décision pour la gestion du métabolisme du territoire.

Les modules liés aux activités et évolutions des infrastructures du fleuve modules sont :

Dragage (aide à la définition des stratégies de dragage) (figures 8 et 9) ; Navigabilité (aide à la navigation et à l'amarrage) (figure 10) ;

Étude (lancement de modélisations, analyse des conséquences de scénarios de pollution, d'aménagements) (figure 11).

8- Dragage (aide à la définition des stratégies de dragage) - module Commission des seuils.

9- Dragage (aide à la définition des stratégies de dragage) - module Stratégie annuelle.

10- Navigabilité (aide à la navigation et à l'amarrage).

11- Étude (lancement de modélisations, analyse des conséquences de scénarios de pollution, d'aménagements).

8- Dredging (aid for definition of dredging strategies) - Threshold Commission module.

9- Dredging (aid for definition of dredging strategies) - Annual Strategy module.

10- Navigability (navigation and mooring aid).

11- Design work (launching of modelling, analysis of the consequences of pollution and development scenarios).

tisés, qui puisent dans les sources de données ad hoc via des requêtes API. Plusieurs calculs sont ainsi lancés de façon automatique pour alimenter la base de données Giros :

→ Un calcul quotidien, réalisant une prévision de J-1 à J+10 ;

→ Un calcul mensuel, réalisant une prévision de J-30 à J+130, sur la base de tendances pour le moyen terme ; ce calcul ne concerne que la modélisation 3D.

Les résultats de ces prévisions, stockés en base de données, fournissent

l'information nécessaire à chacun des Jumeaux Numériques (modules "Caractéristiques du Milieu", "Dragages", "Navigation", ... décrits ci-après), notamment par le calcul d'indicateurs opérationnels et l'affichage des données pertinentes pour les usagers.

Ces modules permettent d'accompagner les prises de décision relatives aux métiers du port (évolution de la bathymétrie, simulation de navigation adaptée à chaque navire) et de simuler l'impact de scénarios d'aménagements ou d'événements sur le fleuve.

Ainsi, ils permettent d'anticiper les effets du changement climatique, de chercher des solutions d'atténuation et/ou de réduction de la vulnérabilité du territoire et de développer, in fine, l'économie durable sur le fleuve et l'estuaire.

CAPTEURS VIRTUELS

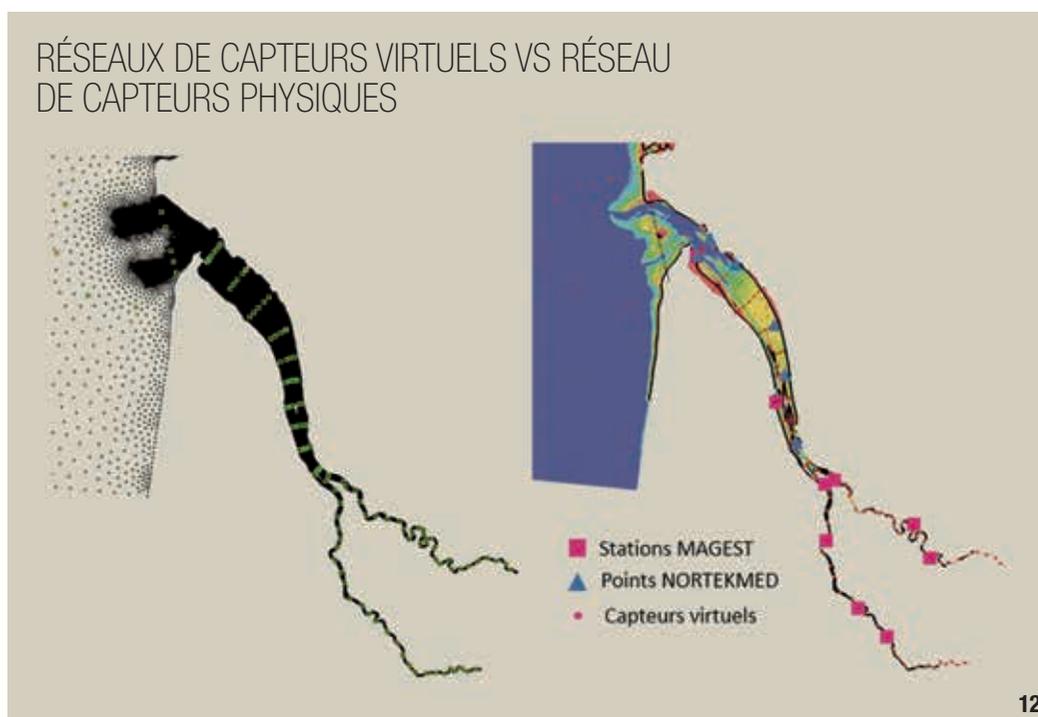
Le chantier "Capteurs virtuels" a pour objectif d'équiper les Jumeaux Numériques d'une centaine de capteurs virtuels permettant de compléter les connaissances sur l'Estuaire (figure 12). L'utilisation d'un modèle d'intelligence artificielle pour créer ce réseau de capteurs virtuels permettra en effet d'épargner la pose réelle de capteurs, leur protection et leur maintenance mais aussi leur étalonnage et leur maintenance.

Dans un premier temps, ces capteurs virtuels "mesureront" la température de surface de l'eau. Les réseaux de données exploitées pour l'entraînement du modèle d'intelligence artificielle sont :

- Magest ;
- Nortekmed ;
- Copernicus ;
- Hub'eau ;
- Shom ;
- Open-meteo.

En fonction des conditions, les capteurs virtuels prévoient l'évolution des paramètres sur l'ensemble du domaine estuarien.

La principale application des capteurs virtuels est de contribuer à étalonner le modèle Telemac Mascaret.



12 © EGIS

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 3 cours d'eau : Gironde, Garonne et Dordogne
- 130 000 ha modélisés en 3D
- 5 modules de consultation et d'aide à la décision développés en open source
- 7 nouveaux paramètres physico-chimiques ajoutés au modèle
- 120 capteurs virtualisés, simulés par l'IA

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- EGIS
- OSLANDIA
- FIELDBOX
- GRAND PORT MARITIME DE BORDEAUX

12- Réseaux de capteurs virtuels VS réseau de capteurs physiques.

12- Networks of virtual sensors vs network of physical sensors.

RÉPLICABILITÉ ET ADAPTABILITÉ

GIROS a été conçu sur la base de micro-services, ce qui lui permet d'être simple, clair et adapté mais aussi adaptable et répliquable.

Nous avons lancé un POC sur l'estuaire du Saint-Laurent et avons pu rapidement adapter les jumeaux numériques à ce fleuve. □

ABSTRACT

GIROS: DIGITAL TWINS OF THE GIRONDE ESTUARY

VINCENT LALIRE, EGIS - BÉNÉDICTE AUTHIE, EGIS - JEAN-BAPTISTE SAULNIER, EGIS - FABRICE KLEIN, GRAND PORT MARITIME DE BORDEAUX

At a time when the Gironde is experiencing the initial impacts of climate change, the rapid expansion of digital technology is providing solutions for studying and anticipating the changes to come, and to reduce the region's vulnerability. Egis, Oslandia and Fieldbox have developed GIROS, an architecture to automate the setting and launching of operational modelling, to process the results and consume them on a platform. Five additional modules enable the user to view the trend of change in the estuary. Managers should share a view of the consequences of their actions, the port activities should rationalise their decisions, and scientists should simulate the impact of scenarios regarding developments or events on the river. □

GIROS: LOS GEMELOS DIGITALES DEL ESTUARIO DE LA GIRONDA

VINCENT LALIRE, EGIS - BÉNÉDICTE AUTHIE, EGIS - JEAN-BAPTISTE SAULNIER, EGIS - FABRICE KLEIN, GRAND PORT MARITIME DE BORDEAUX

Ante los primeros impactos del cambio climático en el departamento francés de la Gironde, el auge de las tecnologías digitales ofrece soluciones de estudio y anticipación de los futuros cambios, así como de reducción de la vulnerabilidad de los territorios. Egis, Oslandia y Fieldbox han desarrollado GIROS, una arquitectura para automatizar el forzado y el lanzamiento de modelizaciones operativas, tratar los resultados y explotarlos en una plataforma. Cinco módulos complementarios permiten al usuario consultar la tendencia de evolución del estuario. Los administradores serán responsables de compartir una visión de las consecuencias de sus acciones, los gremios profesionales del puerto, de racionalizar sus decisiones, y los científicos, de simular el impacto de escenarios de posibles ordenaciones o incidentes en el río. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES PORTS FLUVIAUX DE MÂCON ET DE CHALON-SUR-SAÔNE

PAR R. BŒUF, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES À LYON

TRAVAUX N°212 - JUIN 1952

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



Aujourd'hui, la CCI 71 (Chambre de Commerce et d'Industrie de Saône-et-Loire), par son service Aproport, gère les trois plateformes multimodales implantées sur la Saône à Chalon-sur-Saône, Mâcon et Pagny, qui combinent la route, le fluvial et le ferroviaire à travers des prestations de manutention, de conditionnement et de stockage. Ces implantations situées sur l'axe Rhône-Saône sont à deux jours maximum de navigation des ports maritimes du sud de la France. Le port de Chalon-sur-Saône comporte 5 postes à quai sur 600 m et celui de Mâcon 3 postes à quai sur 400 m. Elles sont aussi embranchées au réseau ferroviaire sur la ligne Paris-Marseille et au carrefour des axes routiers européens : autoroutes Paris-Lyon-Marseille, route Nationale 6, autoroutes A36-A39-A40-A406, Route Centre Europe Atlantique. Elles revendiquent ainsi une position géostratégique au centre des flux européens de marchandises. Les activités sont le vrac ou big-bag de céréales, engrais, sables et graviers, charbon, bauxite, perlite, matériaux de construction, aliments pour bétail, sel de déneigement, bois, conteneurs, produits métallurgiques, chimiques et manufacturés. Au lendemain de la deuxième guerre mondiale, le concept de "plateforme multimodale" n'avait pas

encore été formulé ainsi mais l'idée orientait déjà les projets d'infrastructures portuaires fluviales. L'article d'archives reproduit ici, publié en 1952, concerne la construction du port de Chalon-sur-Saône entre 1945 et 1949 et l'extension en 1948 du port de Mâcon qui existait depuis 1926. Ces projets accompagnaient l'essor économique de l'après-guerre. Ils avaient pour maîtres d'ouvrages la CCI de Chalon-sur-Saône et la CCI de Mâcon respectivement.

À Chalon-sur-Saône, un port en rivière est ainsi créé à cette époque, en rive droite de la Saône, avec un quai de conception classique. Il est implanté au raccordement avec le canal du Centre et branché sur la ligne ferroviaire SNCF de Chalon à Dole. En plus des plateformes et équipements de manutention, l'infrastructure comprend un chantier naval de construction et de réparation desservi par un slip-way.

À Mâcon, l'ancien port de 1926, également en rive droite de la Saône, est un bassin en darse. Le projet consiste en une extension du bassin. On utilise des pelles mécaniques et une drague suceuse. Un original "mur en chaise" est construit, fondé sur des pieux battus carrés en béton armé. La zone portuaire est raccordée à la ligne ferroviaire Mâcon-Genève. □

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE RIVER PORTS OF MÂCON AND CHALON-SUR-SAÔNE

TRAVAUX No. 212 - JUNE 1952

R. BŒUF

At present, with its Aproport service, CCI 71 (the Saône-et-Loire Chamber of Commerce and Industry) manages three multimodal platforms located on the Saône at Chalon-sur-Saône, Mâcon and Pagny, which combine road, river and rail transport through the provision of handling, packing and storage services. These facilities located on the Rhône-Saône route are at most two days' navigation from the seaports of southern France. The port of Chalon-sur-Saône comprises 5 berths over 600 metres and Mâcon has 3 berths over 400 metres. They are also connected to the rail network on the Paris-Marseille line and to the intersection of the European road corridors: Paris-Lyon-Marseille motorways, national highway 6, A36-A39-A40-A406 motorways, and the Central Europe-Atlantic Highway. They can therefore claim a geostrategic position at the centre of European goods flows. Their operations include bulk and Big Bag handling of cereals, fertilizers, sands and gravels, coal, bauxite, perlite, building materials, animal feeds, snow clearing salt, timber, containers, and metallurgical, chemical and manufactured products. Just after the Second World War, the "multimodal platform" concept had not yet been expressed as such, but the idea was already shaping river port infrastructure projects. The article from the archives reproduced here was published in 1952. It covers the construction of Chalon-sur-Saône port between 1945 and 1949 and the 1948 extension of the Mâcon port which had existed since 1926. These projects supported the post-war economic boom. The project principals were the ICC of Chalon-sur-Saône and the ICC of Mâcon respectively. At Chalon-sur-Saône, a river port was therefore created at that time, on the right bank of the Saône, with a quay of conventional design. It is located at the junction with the Canal du Centre and connected to the railway line from Chalon to Dole. In addition to the handling platforms and equipment, the infrastructure comprises a construction and repair shipyard accessed by a slipway. The project consists of an extension of the basin. Shovel excavators and a suction dredger are used. An original "seating wall" is built, supported on foundations of square driven piles in reinforced concrete. The port area is connected to the Mâcon-Genève railway line. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LOS PUERTOS FLUVIALES DE MÂCON Y CHALON-SUR-SAÔNE

TRAVAUX N°212 - JUNIO DE 1952

R. BŒUF

Actualmente, la Cámara de Comercio e Industria del departamento francés de Saona y Loira (CCI 71), a través de su servicio Aproport, gestiona las tres plataformas multimodales implantadas sobre el Saona, en Chalon-sur-Saône, Mâcon y Pagny, que combinan transporte vial, fluvial y ferroviario, ofreciendo prestaciones de manipulación, acondicionamiento y almacenamiento. Estas plataformas, situadas en el eje Ródano-Saona, se encuentran como máximo a dos días de navegación de los puertos marítimos del sur de Francia. El puerto de Chalon-sur-Saône dispone de 5 amarres a lo largo de 600 m y el de Mâcon, de 3 amarres sobre 400 m. Asimismo, están conectadas con la red ferroviaria (línea París-Marsella) y con la intersección de ejes viales europeos: autopistas París-Lyon-Marsella, carretera Nacional 6, autopistas A36-A39-A40-A406 y Ruta Centro Europa Atlántico. Además, ocupan una posición geoestratégica en el centro de los flujos europeos de mercancías. Realizan actividades a granel o en big-bag de cereales, fertilizantes, arenas y grava, carbón, bauxita, perlita, materiales de construcción, piensos para el ganado, sal para carreteras, madera, contenedores y productos metalúrgicos, químicos y manufacturados. Tras la Segunda Guerra Mundial, el concepto de «plataforma multimodal» todavía no se había formulado en estos términos, pero la idea ya orientaba los proyectos de infraestructuras portuarias fluviales. El artículo de archivos aquí reproducido, publicado en 1952, trata de la construcción del puerto de Chalon-sur-Saône entre 1945 y 1949 y de la ampliación en 1948 del puerto de Mâcon, que existía desde 1926. Estos proyectos acompañaban el auge económico de la posguerra, con la CCI de Chalon-sur-Saône y la CCI de Mâcon respectivamente como autoridades contratantes. Así, fue en aquella época cuando se creó un puerto fluvial en Chalon-sur-Saône, en la orilla derecha del Saona, con un muelle de diseño clásico. Se implantó en la confluencia con el canal del Centro, enlazado con la línea ferroviaria de la SNCF de Chalon a Dole. Además de las plataformas y equipos de manipulación, la infraestructura incluye un astillero naval de construcción y reparación, al que se accede mediante una slip-way. En Mâcon, el antiguo puerto de 1926, situado también en la orilla derecha del Saona, es una cuenca en dársena. El proyecto consistió en una ampliación de la cuenca, utilizando palas mecánicas y una draga de succión. Se construyó un original «muro-silla», sustentado sobre pilotes hincados cuadrados de hormigón armado. La zona portuaria está enlazada con la línea ferroviaria Mâcon-Genève. □

Les ports fluviaux de Mâcon et de Chalon-sur-Saône

Par R. BŒUF

Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Lyon.

MÂCON, Chalon-sur-Saône : les deux grandes villes du département de Saône-et-Loire, centres d'agglomérations de 40 000 habitants environ chacun. Toutes deux riveraines de la Saône, elles doivent à la rivière leur origine et leur développement.

Leur activité industrielle et commerciale est dirigée par deux Chambres de Commerce qui ont toujours tourné leurs regards vers la belle voie d'eau que constitue la Saône en songeant aux possibilités que leur offrait cette situation géographique pour le développement et l'équipement de leurs cités.

Aussi, voyons-nous ces Chambres de Commerce respectivement chargées des concessions des ports fluviaux de Mâcon et de Chalon.

Les créations de ces deux ports sont toutefois dans le temps assez éloignées l'une de l'autre : l'acte de concession date du 6 juin 1919 pour Mâcon ; il n'est que du 25 juin 1942 pour Chalon (cependant depuis 1905 on effectuait des études poussées, évidemment plus ou moins activement suivant les périodes).

Mais si la Chambre de Commerce de Chalon a procédé au cours de ces dernières années à la construction même de son port, dont elle venait de recevoir la concession, celle de Mâcon a également fait du neuf en réalisant de grands travaux d'extension du port qu'elle exploite depuis 1926. Toutes deux font donc preuve d'un même dynamisme : en réalisant des efforts aussi importants en faveur des équipements portuaires de la Saône, elles manifestent l'espoir d'abord de satisfaire les besoins de la vie économique de leur région, mais surtout de créer des conditions favorables au développement de cette vie économique.

Pour l'une, il s'est agi de remédier à l'absence à Chalon d'installations portuaires modernes raccordées à la voie ferrée ; pour l'autre, il fallait répondre aux nouveaux besoins du trafic, les moyens du port de Mâcon se trouvant complètement saturés.

Par leur ampleur, les travaux entrepris à ces titres par ces deux Chambres de Commerce constituent les réalisations récentes les plus importantes et les plus intéressantes en faveur de la navigation sur la Saône.

I. — Le nouveau port de Chalon-sur-Saône

A PART UN début de chantier entrepris en juillet 1941, mais interrompu en juillet 1942 sur ordre des autorités allemandes, les travaux de construction du port de Chalon ont été exécutés de la fin de l'année 1945 au début de l'année 1949. C'est dire qu'ils ont été menés au milieu des mille difficultés de cette période qui a suivi la Libération, en particulier avec les diverses restrictions dans les attributions de matériaux contingentés dont les répercussions ont été particulièrement sensibles pour l'exécution des commandes d'outillage.

Le 23 juin 1949, le port de Chalon était officiellement inauguré par M. le Ministre des Travaux publics.

Plan du port.

Les installations du port de Chalon s'allongent sur la rive droite de la Saône sur 1 750 m en amont de la ville, les terrains concédés représentant une bande de 200 m de largeur moyenne. La concession se prolonge ensuite par une

autre bande perpendiculaire à la rivière qui, tracée suivant un axe rectiligne, rejoint le bief 34-35 du canal du Centre.

L'œuvre entreprise par la Chambre de Commerce est en effet un ensemble extrêmement vaste. Les travaux aujourd'hui réalisés ne représentent encore qu'une première tranche du projet d'ensemble qui, outre les diverses installations portuaires développées le long de la Saône, doit comprendre une déviation du canal du Centre, de manière à rectifier le tracé de ses derniers biefs qui, actuellement, traversent la ville même de Chalon et débouchent en Saône en plein centre, sans aucune possibilité d'aménagement quelconque de ce confluent de voies navigables.

Dans l'ensemble des aménagements réalisés ou projetés, on peut distinguer deux grandes zones principales séparées par l'écluse qui terminera la déviation du canal du Centre :

1° Le port proprement dit, avec les installations riveraines de la Saône et la partie comprise entre la Saône et l'écluse.

2° La zone industrielle, au-delà de l'écluse jusqu'à la jonction avec le canal.

Les travaux achevés en 1949 ne concernent que la pre-

mière zone. Le plan d'aménagement de celle-ci comprend, en remontant de l'aval vers l'amont :

- le port public ;
- une zone réservée à des ports privés ;
- le slip-way et les chantiers de bateaux ;
- le bassin de jonction avec la future déviation du canal du Centre.

1° Le port public.

Le port de Chalon est un port en rivière ; ses terre-pleins s'étendent en arrière d'un mur de quai construit en bordure même de la Saône.

Les terre-pleins du port public s'étendent sur 460 m de longueur, bordés côté Saône par un mur de quai rectiligne et sur 71 m de largeur, comprenant à partir du côté eau :

— deux voies ferrées bord à quai et une troisième voie desservant les installations du port (emplacements de stockage, magasins, etc.) ;

- un terre-plein de 37 m de largeur utile ;
- et une route de desserte générale avec 8,50 m de chaussée.

Les terre-pleins pourront, dans une deuxième phase d'avenir, être élargis au-delà de la route pour atteindre 200 m de largeur totale, puis prolongés vers l'amont en allongeant simultanément le mur de quai sur 360 m encore de longueur.

Les travaux d'infrastructure du port public ont essentiellement comporté :

- les travaux de terrassement pour la construction des terre-pleins ;
- et les travaux de construction du mur de quai.

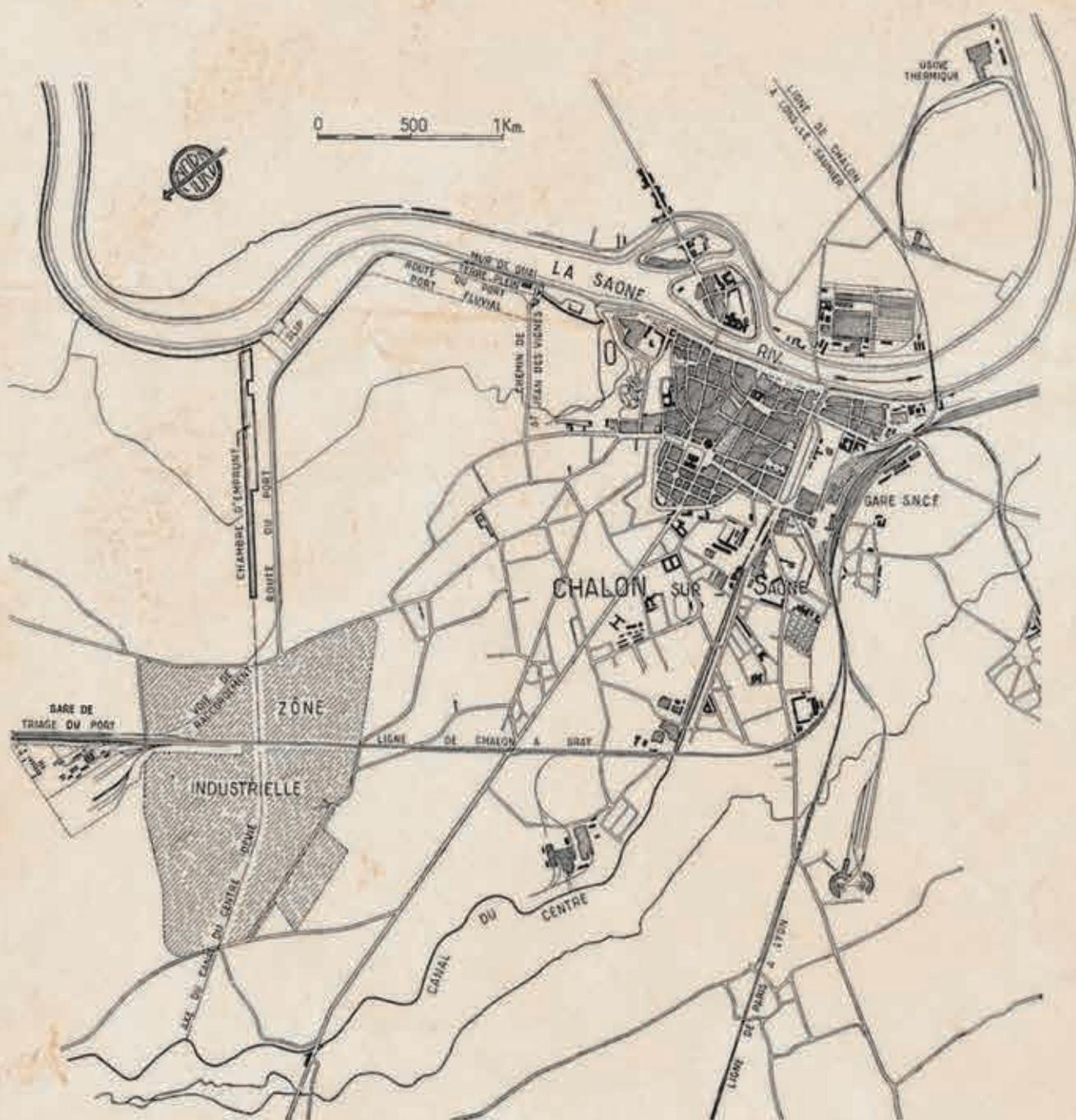


Fig. 1. — Plan général de Chalon montrant la situation du port fluvial avec le raccordement du canal du Centre et l'emplacement de la zone industrielle.

c) Les travaux de terrassement.

Le port s'étale dans un espace entièrement libre de toute sujétion de construction préexistante, puisqu'il a été aménagé dans des terrains de prairies.

Mais ces prairies étant facilement inondables par les crues de la Saône, il a fallu remblayer le terrain naturel. La cote choisie pour ces remblais a été fixée à (176,80) sur le couronnement du quai, soit 5,32 m au-dessus de la retenue normale de la Saône (c'est sensiblement le niveau atteint par la crue de janvier 1010). Bien qu'une telle cote représente déjà une hauteur de remblai de 3 m environ sur le sol de la prairie, elle ne rend pas encore les terre-pleins rigoureusement insubmersibles : la plus grande crue connue, celle de novembre 1840, qui cote (177,45), dépasserait de 65 cm le dessus du couronnement du quai.

Les remblais des terre-pleins provenaient des fouilles du mur de quai et des importants dragages effectués sur la partie latérale du lit de la Saône pour assurer le tirant d'eau minimum de 2,20 m au pied du quai.

b) La construction du mur de quai.

Le mur de quai est d'un type très courant : ses caractéristiques exactes sont précisées sur le profil transversal ci-dessous (fig. 2).

Il a été exécuté à l'intérieur d'enceintes successives de longueurs variables de 15 à 40 m, en palplanches métalliques battues en moyenne à 4 m au-dessous du fond du lit. Les terrassements de déblais à l'intérieur des enceintes ont été effectués au moyen d'une grue à benne preneuse.

Malgré quelques difficultés particulières, on est toujours parvenu à épuiser les enceintes et à couler tout le béton à sec.

Tous les coffrages étaient métalliques de manière à obtenir une meilleure surface de parement après décoffrage.

Le dessus du mur de quai reçoit l'un des rails de roulement des appareils de manutention et il porte latéralement le caniveau assurant l'alimentation électrique de tous ces engins en courant triphasé 380 V.

Ce caniveau donne passage aux fils de trolley sur lesquels se déplacent les frotteurs des dispositifs de prise de courant des engins. Il est couvert par des consoles en fers striées reposant sur des consoles en fers cornières et il comporte côté rivière une ouverture latérale par laquelle pénètrent les charnues de prises de courant. Les câbles électriques sont



(Photo A. Lacoste.)

Fig. 3. — Vue du quai et du terre-plein du port prise vers l'amont.

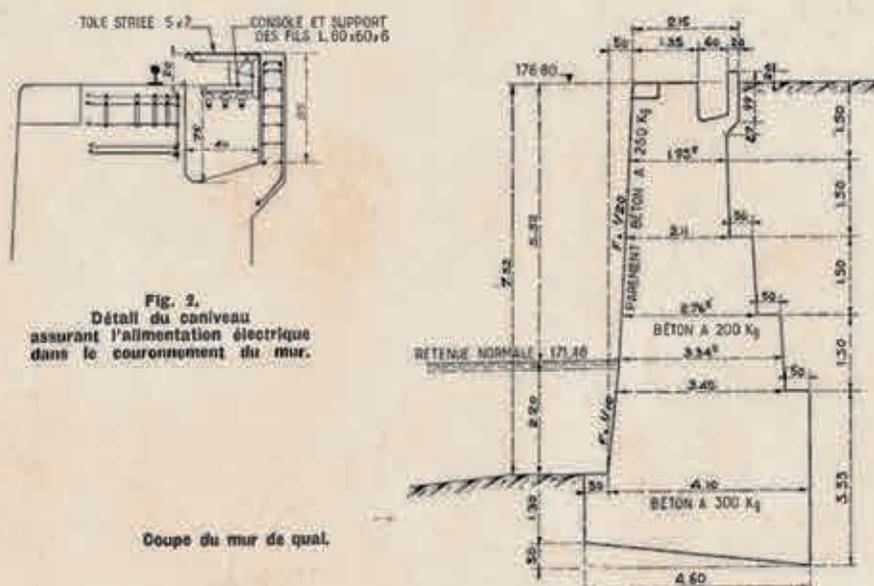
ainsi à l'abri des projections de matériaux au cours des opérations de manutention.

c) L'équipement du port.

Pour pouvoir faire vivre le port, c'est-à-dire lui faire assurer les transbordements et les stockages de marchandises, il a fallu pourvoir les terre-pleins d'un équipement approprié au trafic prévu : appareils de manutention, parcs de stockage, trémies, magasins, etc.

Les appareils de manutention, qui se répartissent la desserte des 460 m de quai, comprennent un pont-portique et trois grues sur portique.

Le pont portique se déplace sur 230 m de longueur sur des chemins de roulement enjambant en une seule portée de 54,45 m toute la largeur du terre-plein entre le quai et la route. Il comporte deux avant-becs qui portent sa longueur totale à 97 m et lui permettent de battre en outre deux bandes latérales : un avant-bec de 18 m de portée au-dessus de la rivière le rend capable de charger ou décharger un bateau en troisième position le long du quai ou de transborder des marchandises d'une barque du Rhône dans un automoteur de canal ; l'autre avant-bec, de 24,50 m de portée, côté terre, permettra de desservir une bande de 11,80 m de profondeur sur le terre-plein qui sera aménagé au-delà de la route. Grâce à cet avant-bec, le portique assure actuellement à lui seul le déchargement des bateaux chargés de matériaux de démolition et de terrassements divers et la mise en remblai de ces matériaux au-delà de la route pour l'extension du terre-plein.



Coupe du mur de quai.

Le chariot, qui roule à la partie inférieure de la poutre, comporte un treuil de levage de 3 500 kg. La palée côté route porte une trémie de 15 m³ avec goulotte qui peut assurer au portique une marche continue malgré le débit discontinu des chargements sur camions en cas d'expédition importante. Le débit de déchargement du portique est variable de 45 à 90 t à l'heure, suivant la distance de déplacement du chariot.

Les grues, au nombre de trois, sont toutes montées sur des portiques qui, enjambant les deux voies ferrées bord à quai, roulent sur des rails écartés de 9,50 m.

Leurs caractéristiques de travail sont les suivantes :

Caractéristiques	Grue n° 1	Grue n° 2	Grue n° 3
Portée	6,50 m à 18 m	10 à 15 m	6,50 m à 18 m
Force de levage avec benne-preneuse.....	3,500 t de 6,50 m à 12 m	1,800 t de 10 m à 15 m	3,500 t de 6,50 m à 18 m
Force de levage au crochet.....	5 t de 6,50 m à 8,50 m	3 t à 10 m	5 t de 6,50 m à 8,50 m
— — — — —	2 t de 6,50 m à 18 m	1,800 t à 15 m	2 t de 6,50 m à 18 m
Débit de déchargement avec rotation de 50°.....	90 t à l'heure	Plus lent que celui des	90 t à l'heure
— — — — — de 180°.....	60 t à l'heure	deux autres grues	60 t à l'heure

Les grues n° 1 et 3 sont dotées d'un mouvement de rejeu de flèche qui est réalisable aussi bien à vide qu'en charge, avec déplacement horizontal de la charge au cours de la manœuvre : grâce à quoi, le relevage de flèche peut être très rapide sans gros effort dans les organes mécaniques et avec un moteur de 12 ch seulement.

La grue n° 2 est également à portée variable, mais à vide seulement.

Les parcs de stockage affectés soit aux charbons, soit aux sables et graviers, se trouvent dans la zone sous portique. Ils comprennent un certain nombre de cases constituées par des cloisons mobiles en béton armé de 2 m de hauteur. La mobilité des cloisons offre l'avantage de pouvoir modifier très rapidement la forme des cases suivant le désir des utilisateurs : pour les déplacer, il suffit en effet de les manutentionner au crochet du portique.

La capacité totale de stockage de la zone sous portique atteint 50 000 t environ.

Quatre trémies banales, de 30 m³ de capacité chacune, montées en groupe à l'extrémité aval du quai, sont desservies par les grues n° 1 et 2. Elles permettent le chargement de matériaux en vrac aussi bien sur camions que sur wagons.

Un hangar-magasin de 52 m × 25,40 m, qui occupe la partie aval du terre-plein, a été construit sur une plateforme surélevée qui permet d'un côté, sous forme de quai de déchargement, les manipulations à niveau avec les wagons, et de l'autre, avec les camions. Il comprend cinq travées dont deux ont été spécialisées pour des grains. Dans ce but, le magasin a été complété par une chambre d'ensilage surmontée par une trémie spéciale ; la partie inférieure de cette trémie se termine par quatre goulottes sous lesquelles sont fixées des ensacheuses-peseuses. Cet équipement permet au port de recevoir des céréales en vrac par bateau et de procéder à l'ensilage rapide au fur et à mesure des déchargements, avec stockage des sacs ou évacuation aussi bien par fer que par route.

En outre, dans l'avenir, la capacité de stockage couvert sera accrue par la construction d'un bâtiment de 33 m × 27 m qui constituera un magasin à quatre étages, situé à proximité du précédent, de manière à desservir aussi l'étage inférieur par un quai de déchargement sur la voie ferrée, d'un côté, et vers la route, de l'autre.

Enfin, un pont-bascule de 40 t pour camions a été installé en bordure de la route à l'entrée même du port public.

2° La zone réservée à des ports privés.

Au-delà de la zone prévue pour le prolongement du quai, s'étend entre la route et la Saône, le long de la courbe de la rivière, une zone dans laquelle rien n'a été aménagé par la Chambre de Commerce. Elle pourrait attirer des industries privées, exerçant leur activité sur des marchandises particulières nécessitant pour leur manutention un outillage très spécialisé. Ces industries trouveraient là des emplacements faciles à desservir, en bordure desquels elles construiraient elles-mêmes leurs aménagements sous forme de ports privés.

3° Le slip-way.

C'est au nord, donc en amont de toutes les zones prévues pour le port fluvial lui-même et ses extensions, qu'a été implanté le slip-way.

En cet endroit, péniches ou automoteurs de canal, bargues du Rhône ou remorqueurs auront tous un accès facile sans gêner le trafic et les manutentions du port.

Le slip-way comprend essentiellement :

- une fosse dans laquelle sont établies les rampes de tirage des bateaux ;

- de part et d'autre de cette fosse, deux terre-pleins sur lesquels sont aménagées les cales de réparations.

Un double système de chariots se déplace dans la fosse pour hisser les bateaux, puis les faire passer sur les chantiers.

Pendant la manœuvre sur le slip-way, le bateau ne repose pas directement sur le grand chariot de manœuvre : celui-ci — que nous appellerons désormais chariot inférieur — rouie perpendiculairement à la rivière ; il a sa partie supérieure aménagée en voie de roulement, de manière que de petits chariots dit chariots supérieurs, ressemblant à des lorries, puissent se superposer à lui et se déplacer perpendiculairement à la marche du chariot inférieur. Ce sont ces chariots supérieurs qui supportent le bateau et qui servent à l'amener au chantier de réparations.

Le bateau est alors mis sur tins et les chariots supérieurs sont récupérés pour d'autres manœuvres de tirage ou de mise à l'eau.

De cette manière, les chariots de manœuvre servent uniquement au tirage des bateaux hors de l'eau et ne sont pas immobilisés pendant la durée des travaux de réparation qui s'effectuent dans les chantiers aménagés sur les terre-pleins de chaque côté de la fosse.

Les terre-pleins des chantiers sont constitués par de vastes aires comportant au total quinze cales indépendantes pour la construction ou la réparation des bateaux, l'amener du bateau sur chaque cale étant assurée par une voie de 3 m de largeur correspondant à la voie de roulement aménagée sur les grands chariots.

Le terre-plein amont s'étend sur 72 m de largeur et représente une surface de près de 12 000 m². Pour l'approvisionnement des matériaux et de l'outillage nécessaires à la réparation des bateaux, ce terre-plein est desservi à l'arrière par

une route de 6 m et par une voie ferrée parallèle à la route.

Au sud, le terre-plein aval, qui représente une surface de plus de 26 000 m², a été entièrement amodié, dès la construction du slip-way, à la Société des Ateliers et Chantiers navals de Chalon-sur-Saône, qui, effectuant à la fois la réparation et la construction des bateaux, y a construit de vastes ateliers desservis par un embranchement ferré particulier.

Le fond de la fosse comporte une aire de 80 m de largeur dans laquelle sont fondées les voies de roulement servant aux deux rampes de tirage qui mesurent en plan, perpendiculairement à la rivière, une longueur totale de 158 m, dont 33 m sous l'eau.

Ces deux rampes étant accolées (leurs deux rails adjacents ne sont qu'à 1,60 m d'intervalle), elles apparaissent comme une rampe unique de 80 m de largeur constituée par huit files de rails dont les deux files centrales reposent sur un seul et même massif en béton.

Le profil en long de ces voies de roulement est soigneusement dressé pour réaliser le long des chantiers une pente



(Photo V. Cuyt.)

Fig. 4. — Vue générale du slip-way et des terre-pleins des chantiers pendant leur période de construction.

de 1 p. 100 vers la rivière, puis une zone intermédiaire de raccordement progressivement variable vers un plan incliné de 16 p. 100 qui plonge sous l'eau jusqu'à 4,30 m sous la retenne normale.

Les chariots de manœuvre sont construits de manière à faire reposer les bateaux sur un plan horizontal, quelle que soit la position du chariot sur le slip ; à cet effet, au-delà de la pente à 1 p. 100, chaque rail est doublé par une autre file dont le profil en long est décalé de 3 m, c'est-à-dire de l'écartement des roues du chariot.

Chaque massif de chemin de roulement a été exécuté à l'abri d'un batardeau en palplanches métalliques qu'on ne put épuiser qu'après avoir coulé une première couche de béton immergé. Entre les chemins de roulement, les terrassements ont été effectués à la pelle mécanique et à la drague, tandis qu'ils étaient faits avec des scrapers dans la partie hors d'eau de la fosse.

Les deux chariots inférieurs qui constituent le système de tirage des bateaux mesurent 40 m de longueur et 3 m de largeur environ. Ils peuvent fonctionner isolément, l'un après l'autre, ou simultanément en marche accouplée, réalisant ainsi un chariot unique de 80 m de longueur.

La charge admissible est de 150 t sur un seul chariot ou 250 t sur les deux chariots accouplés.

Les chariots sont montés sur un ensemble de galets de roulement en acier moulé, à double boudin, mais avec un dispositif permettant une certaine liberté dans la liaison entre les galets et l'ossature du chariot. Les trois galets relatifs à une même file de rails sont en effet montés sur une charpente métallique qui constitue un véritable boggie roulant sur deux roues (une roue avant et l'une des deux roues arrière) et relié aux poutres du chariot par deux bielles articulées autour d'axes horizontaux.

Ce dispositif articulé fait preuve d'une extrême souplesse qui permet de suivre à la fois les petites irrégularités d'alignement des rails et les mouvements de lacet que les chariots peuvent être tentés de prendre en roulement.

Ceux-ci sont en effet mus exclusivement par câbles : deux câbles de montée qui, en descente, sur la pente à 16 p. 100, agissent en câbles de retenue, et un câble de descente qui, passant sur une poulie de retour ancrée au sol vers le début de la pente à 16 p. 100, agit en rappel sur le chariot, tant que celui-ci descend sur les parties à pente réduite.

Les mécanismes de tirage des deux chariots sont groupés dans une seule cabine de manœuvre centrale, d'où partent de chaque côté, vers des poulies de renvoi, les trois câbles de commande de chaque chariot.

Chaque mécanisme, d'une force de 65 t, comprend deux tambours de 0,72 m de diamètre et de 1,13 m de longueur, sur lesquels s'enroulent simultanément, en quatorze spirales alternées allant de l'un à l'autre, les deux câbles de tirage. Les rainures sur les tambours sont droites, sans pas, afin d'éviter un déplacement transversal du câble. Et les câbles ne s'emmagasinent pas sur ces tambours de treuils : le brin non moteur s'enroule sur une grande poulie-magasin (une par câble) placée latéralement. Ces poulies-magasins sont dotées d'un dispositif permettant de rattraper, avant le démarrage des chariots, le mou qui pourrait exister dans les câbles au début de toute manœuvre, et inversement, d'immobiliser l'appareil avec les câbles parfaitement tendus.

Le mécanisme commandant le câble de descente de chaque chariot est constitué par un tambour de treuil auxiliaire de 7 t placé à l'extrémité de l'un des tambours de tirage. Ce tambour auxiliaire reçoit son mouvement du tambour moteur de tirage par l'intermédiaire d'une friction. Il est toutefois animé d'une vitesse légèrement supérieure, de façon à assurer une tension constante du câble de descente, la friction agissant alors comme limiteur d'effort.

Quant à la manœuvre de halage du bateau sur les chariots supérieurs et sur les voies de cale, elle est réalisée de façon très simple au moyen d'un câble commandé par un treuil de 2,5 t, à tambour de grand diamètre, actionné par moteur électrique.

La particularité du système réside dans la mobilité de ce treuil de halage, monté sur un châssis roulant sur rails, parallèlement aux grands chariots et suivant l'axe longitudinal de la fosse du slip. Cette mobilité n'exige d'ailleurs aucun rail supplémentaire : la voie de roulement à 1,60 m d'écartement est tout simplement constituée par les deux rails latéraux adjacents des deux rampes de tirage des chariots inférieurs.

Les huit chariots supérieurs sont construits de manière à pouvoir se récupérer après la mise du bateau sur tins dans les chantiers.

Le slip-way du port de Chalon est un appareil moderne qui n'exige pas plus de deux heures et demie pour une manœuvre complète, soit de tirage à terre des bateaux, soit de lancement. Toutes les difficultés rencontrées au cours de sa mise au point ont été résolues avec élégance. Pouvant recevoir toutes les unités qui circulent actuellement sur les canaux français et sur le Rhône (à l'exception toutefois des grands remorqueurs du Rhône), il doit rendre de réels services à toute la batellerie, à la fois pour les réparations et pour les constructions neuves, grâce à la rapidité et à la sécurité des manœuvres.

4° Le bassin de jonction avec la future dérivation du canal du Centre.

A l'aval de l'écluse du futur raccordement du canal du Centre à la Saône, le bassin de jonction, en libre communication avec la rivière, se présentera comme une darse de 1 500 m de longueur environ, dont une partie servira de garage à bateaux.

Son aménagement n'a pas fait partie des travaux de la première phase : l'emplacement de la cuvette du futur bief a seulement déjà été utilisé comme chambre d'emprunt pour les remblais des terre-pleins des chantiers du slip et de la route générale de desserte qui court parallèlement à la déviation du canal.

A l'embouchure de la darse en Saône, en amont du terre-plein nord du slip, les terrains vont être remblayés pour que puissent s'y installer des dépôts d'hydrocarbures dont les postes de déchargement seront constitués par des ducs d'albe.

Puis, entre le canal et la route du port, s'étendent encore des terrains qui, après remblaiement, donneront des terre-pleins de 55 à 80 m de largeur, sur lesquels pourraient se dresser de petites industries grâce à la facilité de la triple desserte eau-fer-route.

5° Les voies de desserte du port.

a) Route.

En passant en revue les diverses parties du port, nous avons déjà parlé plusieurs fois de la route générale de desserte qui se développe sur près de 4 km.

Premier tronçon de cette route, l'avenue Pierre-Nugue (en hommage au Président de la Chambre de Commerce qui, en 1935, fit approuver le projet du port, aujourd'hui réalisé), constitue la voie d'accès du port, conduisant sur 730 m de l'avenue Monnot, artère nord-est de la cité chalonnaise, à l'extrémité aval du port public.

Passant là devant le bâtiment d'administration, la route tourne pour parcourir ensuite sur 3 220 m de longueur, parallèlement à la Saône et au futur canal, toute la bande des terrains du port, et aller rejoindre le chemin départemental n° 5 par lequel s'effectue au nord le débouché routier du port.

Sur toute sa longueur, la route a une chaussée de 8,50 m de largeur, encadrée de chaque côté par une bordure en béton ; c'est une chaussée empierrée ordinaire avec revêtement en liant hydrocarboné et caniveaux latéraux pavés de 0,50 m de largeur.

Un seul embranchement à cette artère générale : la route du slip, de 6 m de largeur, qui dessert les diverses parcelles du terre-plein amont du slip-way.

b) Voies ferrées.

Le port de Chalon est raccordé à la ligne S.N.C.F. de Chalon à Dôle ; ses installations ferrées comprennent actuellement :

— un faisceau d'échange et de triage, le long de la ligne S.N.C.F., et au nord du futur canal ;

— une voie de raccordement de 3 500 m de longueur qui rejoint la route et suit ensuite son accotement ; sur cette voie se détachent déjà la voie ferrée du terre-plein amont du slip et l'embranchement particulier aux Chantiers navals. C'est elle qui doit servir de voie-mère à tous les futurs raccordements industriels ;

— enfin les installations du port public avec le faisceau des trois voies qui se développent tout le long du quai.

Les manœuvres des wagons sur les voies du port sont assurées par un locotracteur Diesel de 80 ch.

Importance des travaux réalisés par la Chambre de Commerce.

Les travaux de création du port de Chalon-sur-Saône ont été la Chambre de Commerce de cette ville pour maître de l'œuvre ; cette œuvre est une œuvre de grande envergure par laquelle la Compagnie consulaire a exprimé sa foi dans la nécessité de mettre des installations portuaires modernes à la disposition de la navigation intérieure.

Les réalisations actuelles sont capables de répondre à un trafic annuel de 350 000 t par la voie d'eau et 150 000 t par la voie ferrée. Pour préciser l'importance des travaux, nous résumons ci-dessous les quantités des principales natures d'ouvrage exécutés et de matériaux mis en œuvre :

Volume total de terrassements.....	580 000 m ³
— — de béton.....	15 000 m ³
— — de béton armé.....	1 100 m ³
Développement total des rideaux de palplanches.....	1 300 ml

Le total des dépenses faites s'élève à 430 millions (ce chiffre ne représente malheureusement pas la valeur des installations à une date déterminée en raison de l'échelonnement des chantiers de 1945 à 1949 et des continuelles variations des conditions économiques dans cette période). Dans son effort financier, la Chambre de Commerce a été aidée par l'Etat (Direction des Voies navigables), le département de Saône-et-Loire et la ville de Chalon-sur-Saône.

Le raccordement du canal du Centre avec le nouveau port de Chalon et la zone industrielle (1).

La mise en service du nouveau port en Saône a fait immédiatement ressortir tout l'intérêt de la deuxième tranche de l'opération d'ensemble, à savoir le raccordement du canal du Centre à ce nouveau port par un nouveau tracé de 3 600 m débouchant en Saône à l'amont du nouveau port. Ce nouveau tracé, presque rectiligne, aura une seule écluse de 10,74 m de chute maximum et se substituera dans l'avenir au tracé actuel du canal qui débouche en plein cœur de la ville de Chalon et comporte trois écluses ; cet ancien tracé sera abandonné dans sa partie aval, ce qui permettra de réaliser en plein cœur de Chalon une opération d'urbanisme extrêmement intéressante.

Le maintien de deux ports distincts à Chalon : un sur le canal actuel, un autre sur la Saône, à 2 km à l'amont, serait une erreur dont les usagers supporteraient toute l'inconfort. Mais la raison majeure qui justifie la déviation du canal du Centre est que, dès l'origine, les promoteurs du nouveau port de Chalon ont voulu profiter de la situation géographique privilégiée de Chalon pour créer autour de ce port une zone de grand développement industriel.

Il se trouve que le nouveau tracé projeté pour le canal du Centre constituera « l'épine dorsale » d'une très belle zone industrielle appelée à un grand avenir.

En effet, les abords immédiats du port fluvial sont inon-

(1) Ce paragraphe a été rédigé par M. J. Baudet, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Mâcon, chargé du Service du canal du Centre.

dépassait déjà le trafic de l'année normale 1938 (129.000 t), alors que le trafic général de l'ensemble des ports de la Saône représentait, pour la même année 1946, à peine les 40 p. 100 de celui de 1938. Quant à l'année 1947, le trafic annuel en avoisinant 200 000 t dépassait largement tous les résultats antérieurs du port, l'augmentation brutale du tonnage mentionné étant provoquée par les besoins accrus en matériaux de construction (sables et graviers dragués en Saône).

Le port de Mâcon était donc à ce moment-là en plein essor, et la Chambre de Commerce s'est trouvée devant une double insuffisance de moyens :

- insuffisance de l'outillage pour effectuer toutes les manutentions ;
- insuffisance aussi des terre-pleins pour recevoir de nouvelles installations de stockage de matériaux.

Voilà pourquoi en 1947, la Chambre de Commerce de

Mâcon a décidé de réaliser un prolongement rectiligne de l'axe du bassin ; l'axe du nouveau bassin fait un angle de 16 grades avec l'alignement du quai ouest primitif.

Ce nouveau bassin mesure 260 m de longueur et 35 m de largeur au niveau de la retenue normale de la Saône.

Y compris le pan coupé de raccordement entre les deux directions, c'est une longueur nouvelle de 320 m de quai droit qui vient de se construire le long de la rive ouest du bassin, doublant le total des longueurs de quai initialement réalisées.

La rive est du nouveau bassin a été laissée pour l'instant simplement sous forme de talus non revêtu, car en arrière de cette rive a été réservée une zone d'extension facile à équiper en quai si le trafic venait à justifier encore un nouvel accroissement des installations portuaires. Donc, de ce côté, pour le moment, ni ouvrages d'accostage ni terre-plein remblayé.

Au sud, le bassin se termine sur un perré qui revêt définitivement le talus de remblai.

Les terre-pleins nouveaux ont été construits en arrière du quai ouest.

Dans la partie sud qui s'étend sur 210 m de longueur, leur profil en travers comporte :

- deux voies ferrées bord à quai ;
- un terre-plein de 48 m de largeur utile sur lequel s'installent les dépôts industriels et les parcs de stockage ;
- la route principale du port, de 7 m de chaussée ;
- deux voies ferrées : l'une pour la circulation des rames de wagons vers la zone nord du port ; l'autre pour la desserte des parcelles limitrophes ;
- un vaste terre-plein arrière, de 43,40 m de largeur, prêt à recevoir des installations industrielles ne travaillant pas avec la voie d'eau.

L'agglomération mâconnaise, en effet, par suite de la différence d'altitude entre la gare S.N.C.F. et la ville n'offre en dehors de la

zone du port, aucun terrain susceptible d'être desservi par un embranchement ferroviaire. Sur la partie ancienne déjà, on trouve en dehors des quais de nombreux magasins ou établissements privés qui, par la nature même de leur activité, n'effectuent aucun trafic par eau. Des installations analogues peuvent donc venir rapidement prendre naissance sur les nouveaux terre-pleins où la Chambre de Commerce leur offre les autres facilités de desserte, fer et route.

Dans une partie intermédiaire correspondant à 90 m de quai, une zone a été réservée pour les échanges eau-route. On n'y trouve plus qu'une voie ferrée de circulation et, immédiatement en bordure de celle-ci, une chaussée de quai de 6 m, raccordée deux fois à la route principale, de manière à rendre aisées toutes les manœuvres de camions ; après la route, un terre-plein banal reçoit pour de courtes durées des arrivages divers.

Ensuite, dans la partie de raccordement des ancien et nouveau bassins, c'est l'importante installation voisine de dépôts de sables et graviers qui s'est étendue le long du nouveau quai pour augmenter ses superficies de stockage.

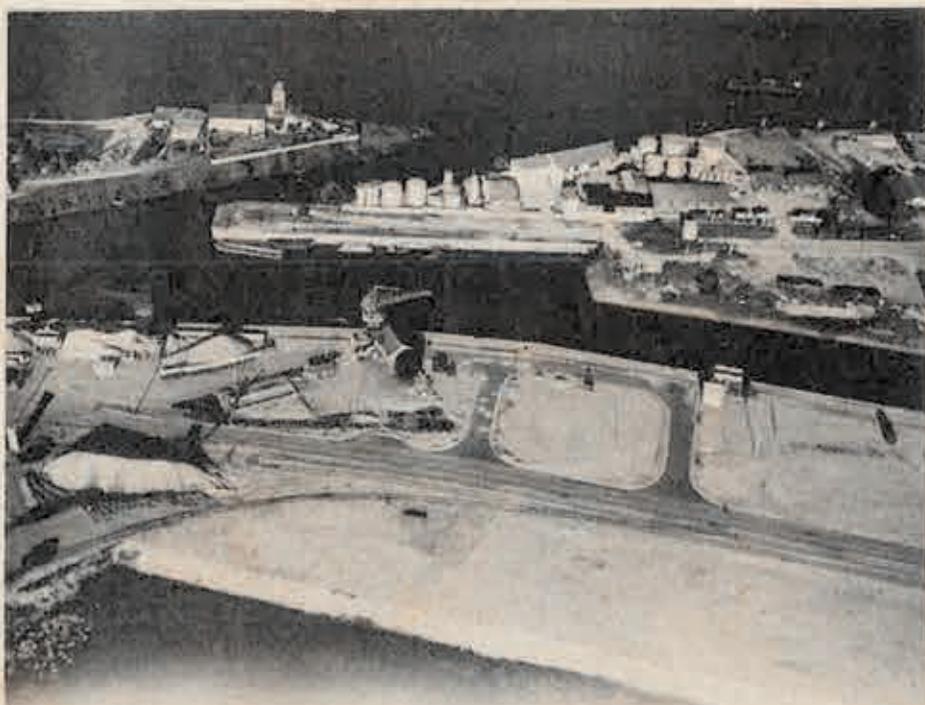


Fig. 6. — Vue aérienne du port de Mâcon au moment des derniers travaux d'aménagement des terre-pleins du quai ouest. Au fond : la Saône.

Mâcon a été amenée à définir immédiatement un programme général d'extension sur toute l'étendue de sa concession et, devant l'urgence des besoins, à passer à l'exécution d'une première tranche.

Plan du port.

Il a évidemment fallu partir du port existant. Avec son bassin de 250 m de longueur, celui-ci comportait trois zones principales :

- le long du quai nord, les terre-pleins spécialement réservés aux entrepôts charbonniers ;
- le long du quai ouest, qui représente la longueur du bassin, s'étendent les installations essentielles : larges terre-pleins pourvus de magasins publics et privés et de parcs de stockage ;
- les terrains riverains de la Saône, en aval du chenal d'accès, ont reçu des dépôts d'hydrocarbure et plus loin, certains établissements industriels.

L'extension du bassin ne pouvait donc se faire que vers le sud.

Les travaux de terrassement.

Les travaux de terrassement comprenaient, d'une part, le creusement du bassin et, d'autre part, le remblaiement des terre-pleins.

Comme à Chalon, les prairies qui constituent le terrain naturel dans l'enceinte de la concession du port sont fréquemment inondables. La cote choisie pour les remblais du port de Mâcon a été fixée à (173,70) sur le couronnement du mur de quai, soit 4,80 m au-dessus de la retenue normale de la Saône, ce qui représente une hauteur de remblai de 3,20 m environ. Mais la plus grande crue connue (novembre 1840) qui cote (175,70) dépasserait de 2 m le dessus du quai. Comme les déblais du bassin représentaient à peine la moitié des remblais nécessaires, l'exécution a comporté deux aspects : les terrassements déblai-remblai sur le chantier même et les dragages complémentaires en Saône.

La profondeur de 3 m du bassin sous la retenue normale de la rivière a nécessité des déblais à la profondeur moyenne de 5 m sous le niveau de la prairie qui constituait le terrain naturel. Tous les terrassements ont été exécutés avec un matériel moderne. La partie à sec a été exécutée par un tournapull de 6 m³ (rendement : 250 m³ : j) et deux scrapers de 3,500 m³ et 5 m³ (rendements : 150 à 200 m³ : j) tirés par des tracteurs sur chenilles de 120 ch.

Trois pelles mécaniques à moteur Diesel, dont une de 100 ch travaillant avec benne piochense, ont également contribué à ces terrassements, le transport des terres s'effectuant soit par camions G.M.C., soit par tombereaux de 5 m³ avec tracteurs sur chenilles (rendement : 200 m³ environ par jour). La grosse pelle a ensuite été équipée en dragline pour les terrassements sous l'eau.

Un bulldozer était pendant ce temps spécialement affecté au réglage des remblais.

Le dragage des matériaux de remblais complémentaires a été exécuté par une drague suceuse refouleuse. Cette drague, d'un rendement de 300 m³ : j, travaillait dans le lit de la Saône au droit du port et refoulait les matériaux (sables et graviers) directement en remblai à des distances représentant près de 400 m de conduites.

Après avoir terminé ses emprunts en rivière, cette drague est venue pénétrer dans le bassin pour en achever le creusement. Quoique avec un rendement plus réduit, l'engin, muni alors d'un couteau désagrégateur (le terrain à ce niveau était constitué par de l'argile assez compacte) a continué son travail à cadence très régulière.

Seuls les enrochements trouvés au pied de la digue qui fermait l'ancien bassin ont nécessité l'intervention d'un petit ponton-grue à benne preneuse.

Les murs de quai.

a) Le quai ouest.

Le quai de l'ancien bassin a été construit en palplanches en béton armé, surmontées d'une poutre de couronnement également en béton armé et ancrées dans le remblai par l'intermédiaire de tirants. A l'époque, le battage de ces palplanches avait donné lieu à bien des difficultés.

Le nouveau mur de quai est complètement différent : il est d'un type particulier, dit « en chaise », dont on trouve une réalisation analogue au quai de Trouville.

Son profil en travers comporte une dalle en béton armé, ayant une largeur de 6 m et une épaisseur variable de 65

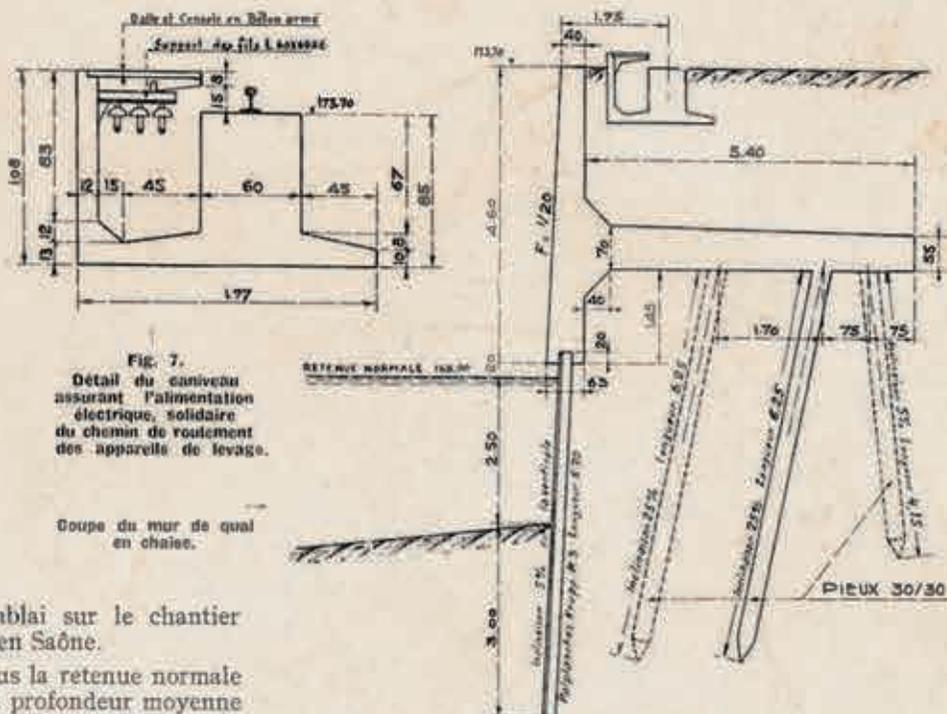


Fig. 7.
Detail du cariveau assurant l'alimentation électrique, solidaire du chemin de roulement des appareils de levage.

Coupe du mur de quai en chaise.

à 70 cm, placée à 1,15 m au-dessus du plan d'eau de la retenue normale ; cette dalle supporte un mur en béton légèrement armé formant le mur de quai proprement dit, dans la partie hors d'eau. Elle repose sur un ensemble formé en avant d'un rideau de palplanches métalliques et, en arrière, trois files de pieux inclinés. La dalle vient s'ancrer au niveau de l'eau par un bec inférieur, sur la tête des palplanches (celles-ci jouent également un rôle de soutènement du terrain situé en dessous de la dalle). Elle est surmontée d'un remblai de 2,60 m d'épaisseur qui amortit convenablement les chocs provoqués par le passage des charges roulantes.

La hauteur totale du quai au-dessus du fond du bassin est de 7,30 m.

Les palplanches métalliques, du type « Krupp », de 5,70 m de longueur, ont été forcées dans le sol avant le creusement du bassin ; leur force portante est de 13 t : m linéaire de rideau. Le battage a été effectué avec un marteau trépideur « Pajot » de 2 800 kg suspendu à une sonnette.

Les pieux sont en béton armé, de section carrée 30 x 30 cm. Ceux des deux premières files ont 6,25 m de longueur et sont inclinés à 25 p. 100 sur la verticale vers le bassin ; ceux de la file arrière n'ont que 4,75 m de longueur et sont inclinés en sens inverse de 10 p. 100 sur la verticale. Les pieux des deux premières files, qui sont les plus chargés, ont des forces portantes théoriques de 60 t, tenant compte de la surcharge due en particulier aux passages des engins de manutention. Ils ont été battus par un mouton à vapeur, système « Lacour », porté par une sonnette à jumelles inclinables montée sur un échafaudage spécial pourvu de deux chemins de roulement correspondant aux deux files de pieux.

L'exécution de la dalle n'a pas rencontré de difficultés, celle-ci ayant été située largement au-dessus de l'atteinte des fluctuations du plan d'eau.

Le mur est construit par éléments de 13,66 m de longueur séparés par des joints secs de raccord.

Les conditions dans lesquelles a été fait le choix de ce type de mur de quai sont intéressantes à noter. En effet, le projet sur lequel les entrepreneurs ont été consultés comportait (uniquement par raison d'économie) non pas un mur vertical, mais un mur à profil mixte : fondation à paroi ver-

ticale en palplanches métalliques et perré en béton incliné à 5/4. Dans les conditions économiques d'avril 1949, le prix de construction revenait à 110 000 Fr le mètre linéaire, d'après l'offre de l'entreprise adjudicataire. Mais celle-ci avait présenté en variante la solution du mur de quai en chaise, d'autant plus alléchante que pour la comparaison elle représentait un prix de construction de 113 700 Fr : ml. Cette si faible différence entre les deux solutions doit s'expliquer (au moins en partie à notre avis) par l'effort consenti par l'entreprise dans l'établissement de ses prix supplémentaires pour enlever la décision en sa faveur. Effectivement, elle n'a pas donné lieu à la moindre hésitation de la part de la Chambre de Commerce, qui connaît bien tous les avantages d'un mur droit pour l'exploitation d'un port. Le parement du mur a été placé à l'aplomb du rideau de palplanches qui devait servir de fondation au mur de quai mixte et les



Fig. 8. — Le nouveau bassin et le quai ouest vus de la route en arrière du perré sud.

terre-pleins se sont trouvés par là même élargis de 5 m par rapport au projet initial sur toute la longueur du nouveau quai.

b) Le perré sud.

Cet ouvrage de 35 m de longueur ferme le fond du nouveau bassin.

Il est fondé sur un rideau de palplanches métalliques de 5 m de longueur, surmonté d'une poutre de couronnement en béton armé solidarissant l'ensemble avec des ancrages dans le remblai.

Sur le couronnement s'appuie le perré lui-même, simple revêtement en béton non armé de 25 cm d'épaisseur s'élevant à la même cote que le couronnement du quai ouest auquel il se raccorde.

L'équipement du port.

Le port de Mâcon possédait quatre grues électriques montées sur portiques enjambant la voie ferrée bord à quai : trois le long du quai ouest et l'autre sur le quai nord pour la desserte de la zone des entrepôts charbonniers. Ces grues ont une portée fixe (trois de 15 m et une de 18 m) et une force de 3 t.

Ces moyens étant déjà saturés par le trafic de 200 000 t, les manutentions sur les nouveaux terre-pleins ne pouvaient prétendre être assurées sans engin nouveau. Ce sont deux



Fig. 9. — La nouvelle grue électrique (portée variable de 6 à 18 m; force de levage : 10 à 3 t).

grues — une Diesel et une électrique — et un pont-portique qui sont venus compléter l'équipement du port.

1° Dès la fin de l'année 1948, une grue Diesel sur voie ferrée normale est venue rendre de précieux services par son extrême mobilité qui lui permet d'effectuer toutes sortes de manutentions sur tout l'ensemble du port, et non pas seulement le long des quais. Cet engin, d'un poids total de 43 t en ordre de marche, a une puissance variable de 1 750 kg à 15 m de portée à 9 000 kg à 5 m.

2° La nouvelle grue électrique montée sur portique se déplace sur un chemin de roulement ayant le même écartement de 4 m que celui des premières grues. Le chemin de roulement des grues est donc unique tout le long des quais ouest et son développement total atteint 500 m.

Cette nouvelle grue a les caractéristiques de travail suivantes :

Portée.....	6 à 18 m
Force de levage :	
à 18 m.....	3 t
à 15 m.....	3,500 t
à 6 m.....	10 t
Hauteur de levée	12 m au-dessus du rail de roulement du portique
Débit de déchargement :	
avec rotation de 90°....	90 t à l'heure
avec rotation de 120°....	60 t à l'heure

Cette grue est à volée variable en marche, avec déplacement sensiblement horizontal de la charge.

3° Le pont-portique a des caractéristiques assez voisines de celles du portique du port de Chalon. Avec une portée de 58,20 entre rails de roulement, il se déplace sur 232 m de longueur pour balayer tout le large terre-plein affecté aux dépôts et parcs de stockage, entre le quai et la route principale. Il se prolonge par deux avant-becs ayant respectivement 16 m de portée utile au-dessus du bassin et 24 m côté terre. La longueur totale de la poutre principale de l'engin atteint 107,70 m. L'appareil peut donc, d'une part, charger ou décharger des bateaux quelconques, bateaux de canal ou bateaux du Rhône, en deuxième position le long du quai et, d'autre part, après avoir franchi la route et les deux voies ferrées, desservir une bande latérale de 7 m des terre-pleins arrière réservés aux installations industrielles.

Alors que la poutre principale du portique de Chalon est d'un type particulier, de section triangulaire, dont la légè-

reté à nécessité, à l'usage, le renforcement de certaines parties de la charpente, celle du portique de Mâcon est du type classique en caisson ; le chariot dont le treuil de levage a une force de 3 500 kg, roule ici à l'intérieur de la poutre.

Comme sur l'engin de Chalon, la palée du portique, côté route, est munie d'une trémie de 15 m³ de capacité pour le chargement des camions.

Le débit de déchargement du portique est analogue à celui du portique de Chalon : 45 à 90 t à l'heure, suivant la distance de déplacement du chariot.

4° *L'alimentation électrique* du port a été refaite entièrement à l'occasion des travaux d'extension. Les anciennes grues recevaient leur courant à 220 V suivant des dispositions assez rudimentaires et l'ensemble de l'installation fonctionnait dans des conditions défectueuses par suite des excessives chutes de tension.

Actuellement la nouvelle installation distribue à tous les engins le courant triphasé 380 V dans un caniveau spécial qui court sur toute la longueur des quais. Ce caniveau est indépendant de la maçonnerie du mur de quai ; mais il est solidaire du massif qui sert d'assise au chemin de roulement, côté eau, des appareils de levage.

Le caniveau donne passage aux trois fils de trolley sur lesquels les engins s'alimentent par frotteurs. Il est couvert par des dalles mobiles en béton armé reposant sur des consoles également en béton armé.

5° *Trois trémies* nouvelles de 30 m³ de capacité chacune ont été montées séparément pour le chargement sur camions de matériaux déchargés de bateaux par une grue :

- l'une sur le côté de la route bord à quai ;
- l'autre sur le terre-plein de l'ancien quai devant les magasins publics ;
- la troisième, à la pointe extrême nord-ouest de l'ancien bassin, est plus spécialement réservée aux charbons.

Les voies de desserte du port.

1° Routes.

Un bon réseau routier est absolument vital pour réaliser une exploitation facile d'un port. Au cours de ses travaux, la Chambre de Commerce s'est donc préoccupée de l'ensemble de la voirie du port, de sorte que non seulement on a tracé des routes sur les nouveaux terre-pleins, mais on a aussi rectifié ou amélioré les voies existantes.

Le port a deux accès : l'un par la rue de la République, au nord ; l'autre par le boulevard du Stand, à l'ouest. Son artère principale part de l'entrée nord du port. Elle se présente d'abord sur 250 m de longueur sous forme d'une large esplanade de 11 m entre les deux rangées de magasins publics et privés du port ; elle y est encadrée de chaque côté par des voies ferrées. Puis, après avoir été rejointe par l'entrée du boulevard du Stand, elle se prolonge en chaussée de 7 m sur les nouveaux terre-pleins, jusqu'à leur extrémité sud où elle change brusquement de direction pour contourner le fond du bassin ; elle se replie enfin de nouveau pour revenir en direction nord avec 6 m de largeur de chaussée, passer en arrière des terrains réservés pour la phase d'extension à l'est du nouveau bassin et desservir tous les terrains riverains de la Saône, en particulier les dépôts d'hydrocarbures (capacité totale : 5 300 m³). Son développement total représente une longueur de 1 170 m, entièrement neuve ou remise à neuf.

De cette artère se détachent :

— à l'ouest du bassin, les deux routes qui servent aux liaisons avec la nouvelle chaussée de quai de 6 m de largeur qui s'étend sur 90 m, pour les manutentions directes de bateau sur camion ou inversement ;

— à l'est, une route qui, desservant les terrains industriels riverains de la Saône, rejoint la rive droite de la rivière.

Toutes ces chaussées en empièchement ordinaire, avec revêtement hydrocarboné, sont limitées latéralement par des bordures en béton.

2° Voies ferrées.

Le réseau des voies ferrées du port est raccordé, en gare de Mâcon, sur la ligne S.N.C.F. Mâcon-Genève. La voie de raccordement se termine perpendiculairement à la Saône par un faisceau d'échange et de triage, au sud de toutes les réalisations actuelles du port.

Trois branches s'en détachent pour desservir les diverses parties du port :

— la branche ouest vient longer l'accotement de la route principale et se développe avec deux voies d'abord en bordure des nouveaux terre-pleins arrière, puis devant les magasins privés ; on voit se raccorder sur l'une de ces deux voies l'embranchement de desserte de la nouvelle Manufacture d'Allumettes de Mâcon, qui vient de se construire à l'ouest des magasins du port, sur un vaste terrain se trouvant pourtant en dehors du périmètre de la concession de la Chambre de Commerce ;

— la branche intermédiaire vient constituer sur toute la longueur du quai ouest, les voies ferrées bord à quai enjambées par les grues ; à l'extrémité nord du bassin, la voie rejoint le prolongement de la branche ouest et relie par un rebroussement la voie du quai nord réservé aux charbonnages ;

— la branche est vient longer l'accotement du dernier tronçon de la route principale pour desservir les dépôts d'hydrocarbures et se terminer par un faisceau en bordure du quai est de l'ancien bassin.

Les manœuvres des wagons sur les voies du port sont effectuées par deux locotracteurs Diesel, dont un de 80 ch de type très récent, identique à celui de Chalon, assure le service normal, et l'autre, plus ancien, sert d'engin de secours en cas de panne du premier ou en cas d'une pointe de trafic.

Importance des travaux d'extension.

La décision de la Chambre de Commerce de Mâcon au moment où étaient définies les dispositions de l'extension du port, a été dictée principalement par le souci de réaliser la mise en valeur de la plus grande surface de terrains avec la dépense minima. C'est pourquoi en particulier le nouvel outillage a été assez restreint en nombre d'engins ; mais le mode d'installation permet une utilisation banalisée de toutes les grues sur tous les quais ouest, ancien et nouveau, et même sur le quai nord.

Dans sa situation actuelle, le port de Mâcon est équipé pour assurer un trafic total de 300 000 t : an, dont 200 000 t avec la voie d'eau et 100 000 t avec la voie ferrée.

L'œuvre qui vient d'être réalisée à cet effet a sensiblement doublé la longueur des quais utilisables et a renforcé les moyens de manutention par des appareils modernes à grand débit. Son importance peut être définie par les principaux chiffres suivants :

Débais pour le creusement du nouveau bassin	08 000 m ³
Dragages complémentaires en Saône pour la construction des terre-pleins	31 000 m ³
Surface totale des nouveaux terre-pleins créés	41 000 m ²
Volume total de béton armé (mur et caniveau)	2 550 m ³

Le total des dépenses des travaux d'extension s'élève à 160 millions de Fr (dont la plus grosse part se répartit sur les années 1949 et 1950). La Chambre de Commerce de Mâcon a été aidée financièrement par le département de Saône-et-Loire et par la ville de Mâcon.

Plan d'extension et d'urbanisme.

Nous avons déjà signalé que la Chambre de Commerce ne s'était pas lancée en 1948 dans l'exécution des travaux sans avoir organisé un vaste plan d'avenir pour le développement du port.

Les travaux qu'elle termine aujourd'hui ont été choisis comme premier stade d'un projet d'aménagement général du port, étudié en liaison avec l'architecte urbaniste, chargé du plan d'extension et d'urbanisme de l'agglomération de Mâcon. Ce projet prévoit notamment le prolongement de la rue de République à travers la zone de la concession avec une plate-forme de 18 m : c'est ce qui explique le choix de la direction du nouveau bassin et de toutes les voies tracées à l'ouest de celui-ci. Cette rue sera alors la grande voie d'accès aux terrains industriels qui doivent continuer à se développer au sud du boulevard du Stand où la concession du port offre encore des espaces libres sur 120 m de largeur en moyenne à partir de la limite des terre-pleins aujourd'hui remblayés.

La zone réservée à ces extensions d'avenir doit prendre un caractère essentiellement industriel. En effet, le port occupe au sud de la ville une position privilégiée : par la facilité des raccordements ferroviaires que procure le réseau des voies ferrées du port, cette zone de la rive droite de la Saône, au sud de la ville, constitue le seul quartier de l'agglomération mâconnaise où des installations industrielles puissent se fixer. Le port est en somme le noyau autour duquel doit se développer l'activité industrielle de Mâcon.

Les terrains disponibles à cet effet sont encore inondables ; mais pour les rendre utilisables, il suffit de les remblayer, travail facile et rapide n'entraînant que des dépenses modérées, que la Chambre de Commerce sera toujours prête à réaliser progressivement au fur et à mesure des besoins qui s'exprimeront.

La construction de la nouvelle Manufacture d'Allumettes sur le terrain limitrophe du port, entre le boulevard du Stand et la rue de la République, est le premier exemple de ces réalisations, fort important d'ailleurs, puisque les installations s'étendent sur une surface de 115 000 m².

III. — Conclusion

Par les travaux qu'elles ont récemment exécutés dans les ports dont elles ont reçu la concession, les Chambres de Commerce de Chalon et de Mâcon ont manifesté, au cours de ces dernières années, un dynamisme remarquable dans leur rôle de collectivités destinées à servir l'intérêt général.

Qu'il s'agisse de la création du port de Chalon ou de l'extension du port de Mâcon, les installations portuaires de ces Compagnies consulaires constituent maintenant des outils exactement adaptés aux opérations de manutention, de stockage ou de traction que réclament les activités variées de leurs usagers. Mais elles voient déjà beaucoup plus loin : elles espèrent (et c'est normal) que les installations qu'elles

ont conçues méthodiquement se développeront encore progressivement et que, grâce surtout aux facilités de desserte qu'offrent ces ports, par eau, par fer et par route, leurs villes connaîtront un essor industriel qui viendra récompenser leurs lourds efforts financiers.

Mais, sans attendre la réalisation de leurs vœux, ces deux Chambres de Commerce pleines de vitalité méritaient certainement qu'on les mette à l'honneur aujourd'hui en faisant connaître les œuvres qu'elles viennent d'achever sur les bords de la Saône en faveur du développement économique de leurs régions.

R. BŒUF.

DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

Acteur de référence du BTP, nous sommes aux côtés des entreprises, artisans, salariés et retraités de ce secteur pour les protéger, les assurer et les soutenir en cas de besoin. Nous nous engageons chaque jour à proposer des services qui vous aident à avancer avec sérénité.



PRO BTP
GROUPE

ASSURÉ POUR DEMAIN

www.probtp.com

Engineering a Better Solution

Rejoignez notre communauté technique !



MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr



Travaux de protection subaquatique contre l'érosion :

en haut : Pont Simone Veil à Bordeaux (33)
en bas : quai Lamartine en Arles (13)

RenoMac Plus

