

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX. CONFORTEMENT DU PONT SUR LA RIVIERE DU MAT A LA REUNION. NOUVELLES TECHNOLOGIES D'INSPECTION AERIEENNE ET SOUS-MARINE. ECLUSE DE ROCHETAILLEE-SUR-SAONE. JETEE GNL EN AMERIQUE DU SUD. RECONSTRUCTION D'UN QUAI DANS UN PORT PETROLIER A TRINITE-ET-TOBAGO. NOUVELLE INFRASTRUCTURE DANS LE PORT D'INGENIERO WHITE EN ARGENTINE. TRESORS DE NOS ARCHIVES : OUVRAGES DE NAVIGATION CHUTE DE DONZERE-MONDRAGON SUR LE RHONE

N°930 JANVIER/FÉVRIER 2017



PLATEFORME AUTO-ÉLEVATRICE SUR LA TAMISE, À LONDRES
© FIJGRO

LES TRAVAUX PUBLICS
FÉDÉRATION NATIONALE

Assurer ses risques professionnels, c'est bien.
Être conseillé et accompagné, c'est mieux !

Avec SMABTP, à chaque métier son contrat sur mesure et son conseiller spécialisé.

Votre conseiller expert vous recommande **Atout TP** qui couvre tous les risques des **entreprises de TP** en un seul contrat : pour la protection de toutes vos activités et de vos engins en circulation ou au travail. L'offre s'adapte et se module à chaque type de chantier et en fonction du profil de votre entreprise. Vous obtenez aussi un soutien et des aides dans vos démarches de prévention des accidents.

Et parce que chaque profession est unique, nous déclinons nos solutions d'assurance par métier depuis près de 160 ans.

Notre métier : assurer le vôtre



Découvrez toutes nos solutions d'assurance de personnes (dirigeants et salariés), de biens professionnels et d'activités.

www.groupe-sma.fr




SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

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 - 114 avenue Emile Zola - 75739 PARIS Cedex 15

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

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

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com

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

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

Publicité

Rive Média
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr

Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence
Siège :
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
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).

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

HAROPA : DES PORTS BÂTISSEURS ET AMÉNAGEURS



© DR

Grâce à une offre maritime compétitive et à une desserte optimale de l'hinterland, Haropa, l'alliance des Ports du Havre, Rouen et Paris, se positionne à la première place des ensembles portuaires français et au cinquième rang des ports du range nord. Dotée d'un système logistique de premier plan, elle génère chaque année près de 120 millions de tonnes de trafics maritimes et fluviaux.

Pour accompagner les développements des clients, les ports séquanais investissent chaque année dans des projets structurants comme en témoignent les travaux des écluses du Port du Havre et l'approfondissement du chenal d'accès au Port de Rouen (de l'estuaire de la Seine jusqu'à Rouen). Les investissements pluriannuels des ports (plus de 90 millions d'euros en 2015) visent à améliorer la chaîne d'approvisionnement des clients, à développer les solutions multimodales de transport et à aménager des plateformes portuaires.

Parallèlement, les opérateurs privés ont dépensé 350 millions d'euros, démontrant ainsi le dynamisme de l'axe Seine et la confiance des industriels envers le système portuaire Haropa. Parmi les réalisations clés, citons principalement les groupes Beuzelin, Bolloré Énergie et Tessengerlo à Rouen ; Bolloré Logistics, et Panhard au Havre ; Sogaris et la société Vailog à Paris.

Le réseau portuaire et l'expertise de Haropa permettent également aux acteurs de la filière du BTP d'optimiser leur logistique durable en adéquation directe avec les spécificités de leur activité, de leurs produits, leurs trafics et leurs implantations.

Ainsi, l'industrie des matériaux de construction génère-t-elle plus de 15 millions de tonnes de trafics fluviaux et maritimes. En 2016, grâce au démarrage des travaux du Grand Paris, les déblais de chantier ont enregistré d'excellents résultats à plus de 4 millions de tonnes. Cette performance pourrait être améliorée par la montée en charge progressive cette année de plusieurs chantiers franciliens liés au Grand Paris.

En effet, les ports normands et franciliens sont la clé de voûte d'une chaîne de transport fluviale destinée à acheminer les matériaux et à évacuer les déblais au cœur des villes comme l'atteste la signature d'une convention de partenariat avec la Société du Grand Paris.

Des terrains portuaires multimodaux (fer, voie d'eau et route) à Bonneuil-sur-Marne et à Bruyères-sur-Oise ont été réservés pour l'accueil d'installations de traitement de déblais de chantier. De même, d'autres projets portuaires à Triel-sur-Seine sur 34 hectares, à Vitry-sur-Seine sur 1,5 hectare et Achères sur 100 hectares ont vocation à accompagner le développement des secteurs de la construction et des travaux publics dans les années à venir. À l'horizon 2040, cette dernière plateforme multimodale de 110 millions d'euros d'investissements s'étendra sur une centaine d'hectares à la confluence de la Seine et de l'Oise.

Afin que Haropa reste un hub leader pour les flux de matériaux, ont été mis en place un groupe de travail stratégique et un programme de recherche dénommé Pegase (Performance Granulats Axe Seine). Celui-ci vise à améliorer la compétitivité de la filière granulat le long de l'axe Seine. Plus que jamais, Haropa s'affirme comme un partenaire de long terme des industries des matériaux du BTP et un acteur de la transition énergétique en lien avec le secteur du recyclage largement représenté sur nos plateformes.

Une démarche d'économie circulaire qui démontre ainsi l'engagement sociétal de l'alliance Haropa.

HERVÉ MARTEL

PRÉSIDENT DE HAROPA,
DIRECTEUR GÉNÉRAL DE HAROPA-PORT DU HAVRE



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

NOUVELLE INFRASTRUCTURE DANS LE PORT D'INGENIERO WHITE, BAHIA BLANCA, ARGENTINE © SOLEFANGHE BACHY



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ

14 LA CHARENTE-MARITIME PROTÈGE
SES CÔTES LES PLUS MENACÉES



18

ENTRETIEN AVEC
LAURENT DEVULDER
CALAIS PORT 2015 : UNE AVANCÉE
SUR LA MER POUR L'HISTOIRE

24 FUGRO - LA GÉO-INTELLIGENCE AU SERVICE
DES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES



30

**CONFORTEMENT DU PONT
SUR LA RIVIÈRE DU MAT**
à la Réunion



35

**LES NOUVELLES
TECHNOLOGIES
D'INSPECTION AÉRIENNE
ET SOUS-MARINE**



42

**ÉCLUSE DE
ROCHETAILLÉE-SUR-SAÔNE**
Allongement et murs-guide



50

**UNE JETÉE GNL
EN AMÉRIQUE DU SUD**
à Melchorita au Pérou



56

**RECONSTRUCTION
D'UN QUAI DANS
UN PORT PÉTROLIER**
à Trinité-et-Tobago



63

**NOUVELLE
INFRASTRUCTURE
DANS LE PORT
D'INGENIERO WHITE**
à Bahia Blanca en Argentine



68

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
LES OUVRAGES DE NAVIGATION
DE LA CHUTE DE DONZÈRE-
MONDRAGON SUR LE RHÔNE**
Numéro 211 - mai 1952



MELCHORITA UN JOLI NOM POUR UN TERMINAL GAZIER

SAIPEM SA (FRANCE), dans le cadre du consortium CDB dont elle est leader, a réalisé cette jetée sur la côte Pacifique du Pérou, à 170 km au sud de Lima, partie d'un projet d'infrastructures qui positionne le Pérou comme leader dans l'industrie du GNL en Amérique du Sud. La jetée est réalisée à l'avancement depuis la terre au moyen du cantitravel, type d'équipement régulièrement utilisé par Saipem. Outre ses techniques innovantes, ce projet a comporté un remarquable volet social. (voir article page 50).



APPRIVOISER L'ISÈRE SANS L'ENFERMER

Les travaux sur l'Isère à l'est de Grenoble restaurent sa capacité à contenir les eaux et, en cas de crue, autorisent les débordements sans danger. Les digues, là où elles sont maintenues, sont renforcées.



© PHOTEC

Deux bras morts ont été remis en eau sur cette portion de l'Isère, endiguée des deux côtés, à Crolles (Isère).

faire barrage à l'eau qui monte n'est plus le seul moyen de se protéger des submersions marines ou fluviales.

De plus en plus, les collectivités locales optent pour des débordements contrôlés, à l'écart des populations. Ouvrir des brèches pour que l'Isère s'y écoule est une des mesures du programme d'actions de prévention des inondations (Papi) Isère amont, de Grenoble à Pontcharra, à l'est.

L'Isère est complètement endiguée sur une cinquantaine de kilomètres, dans la vallée du Grésivaudan. Bien qu'elle ne soit pas un torrent fougueux, ses crues

font des dégâts. « Si la crue de 1859 se reproduisait aujourd'hui, les dommages matériels atteindraient 1 milliard d'euros », écrit le Syndicat mixte des bassins hydrauliques de l'Isère (Symbhi), créé en 2004 à l'initiative du département. Cette crue est considérée comme pouvant arriver tous les deux cents ans (bicentennale). Le Symbhi a obtenu l'autorisation de faire des travaux sur le domaine de l'Isère appartenant à l'État. Il y traite les problèmes d'inondations⁽¹⁾.

Le Papi Isère Amont a entamé ses deuxième et troisième tranches de travaux qui se terminent en 2021. La première tranche de 2012 à 2016 a porté sur une section de Grenoble à Saint-Ismier, soit 10 communes et un montant de 52 millions d'euros HT. Les 2^e et 3^e tranches touchent 19 communes sur le reste du tracé jusqu'à Pontcharra. Coût : 83,3 millions d'euros HT⁽²⁾.

→ 23 bancs de sédiments à raser

Réduire l'effet des crues consiste, tout d'abord, à trouver où mettre l'eau : draguer le lit de la rivière pour qu'elle en contienne plus, dégager des bras morts pour qu'ils coulent à nouveau, puis laisser déborder dans les forêts et les champs, quitte à élever un merlon de confinement plus loin à l'intérieur des terres.

Les digues conservées, en protection de l'habitat et des activités, sont confortées et rehaussées. Des ouvrages hydrauliques sont créés : déversoirs, vidange traversant une digue, isolation des passages inférieurs routiers et ferrés.

Pendant ce programme, vingt-trois bancs de sédiments qui encombrant le lit de l'Isère seront arasés et leurs graviers et sables, récupérés pour les travaux ou pour combler des ballastières et les aménager en plans d'eau plus accueillants à la biodiversité.

→ Urbaniser des terrains

Seize champs d'inondation contrôlée situés de part et d'autre de la rivière pourront stocker 35 millions de mètres cubes d'eau, ce qui réduit la surface inondable de 737 hectares. Au total, en cas de crue volumineuse, 3 500 ha seront inondés dans toutes les communes concernées. Les agriculteurs seront indemnisés. Ce qui change pour eux qui évoluent en terrain inondable, c'est de savoir quand leurs champs seront volontairement mis sous l'eau, sur quelle durée et à quel endroit (base crue trentennale). Leur système de drainage évacuera ces eaux.

Grâce à ces travaux, le conseil départemental de l'Isère espère négocier plus facilement avec l'État l'urbanisation de terrains où installer des activités, les bords de l'Isère étant ainsi devenus moins submersibles. ■

⁽¹⁾ Le président du Symbhi est intervenu aux "Rencontres nationales des territoires couverts par les programmes d'actions de prévention des inondations", le 28 novembre, à Paris.

⁽²⁾ Hors acquisitions foncières.



© SO DUPONTRENOUX

Pose d'enrochements pour renforcer une digue sur l'Isère, à Meylan.

QU'EST-CE QU'UN PAPI ?

Depuis 2011, 67 programmes d'actions de prévention des inondations (Papi) ont été labellisés par la commission mixte inondation (élus, État, associations, experts). Le label donne accès à des crédits du programme 181 sur la prévention des risques du ministère de l'Environnement et au fonds Barnier sur les risques naturels majeurs.

Les Papi labellisés représentent un investissement de 1,5 milliard d'euros et reçoivent 623 millions de l'État.

Parmi eux, figurent celui de la Communauté de communes de l'île d'Oléron (Charente-Maritime) dont le conseil départemental est maître d'ouvrage et celui d'Isère Amont (voir ci-contre).

Un nouveau cahier des charges du label Papi est en préparation pour 2018. Il approfondira la concertation locale et les enjeux environnementaux.

TRAVAUX DE 2016 À 2021

Voici quelques chiffres sur les tranches 2 et 3 (2016-2021) des travaux sur l'Isère amont afin de limiter les dégâts quand la rivière sort de son lit :

- 10 champs d'inondation contrôlée (cf. article ci-contre) ;
- 29 km de digues à renforcer ;
- 16 km de merlons et remblais à créer ;
- Chantier découpé en 30 lots ;
- Un million de mètres cubes de limons, plantes invasives et grèves à extraire du lit ;
- Reconnecter 250 ha de forêt alluviale à l'Isère par effacement de 14,8 km de digues ;
- Montant : 83,3 millions d'euros HT ;
- Financement : Symbhi 51,1 % (conseil départemental de l'Isère, Grenoble Alpes Métropole et communauté de communes du Grésivaudan) ; État, 43,1 % ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 9 %.



© SO DUPONTRENOUX

Palplanches en renforcement de digues à Pontcharra, à l'est de la vallée du Grésivaudan (Isère).

MESURES EN FAVEUR DU TRAIN



© ALEX PROFIT/MÉDIATHÈQUE SNCF

La réduction du bruit des trains fait partie du plan de relance du fret.

Vingt millions d'euros seront mobilisés pour atténuer le bruit des trains de marchandises. C'est une des mesures prises au chapitre des innovations technologiques par le gouvernement dans son plan de relance du fret ferroviaire, divulgué début octobre.

Les autres axes du plan incluent le développement de l'intermodalité, avec une aide supplémentaire au report vers le train de 10 millions d'euros.

Une enveloppe de 30 millions sur 2018-2020 sera consacrée au renouvellement du réseau ferré de fret. De plus, SNCF Réseau se voit attribuer 90 millions d'euros en 2016 pour couvrir la différence entre le paiement des péages et les coûts d'usage de l'infrastructure.

→ Autoroutes ferroviaires

Au programme aussi : faire avancer les projets de l'autoroute ferroviaire alpine et

de celle de l'Atlantique vers l'Espagne. Un service Calais-Turin (Italie) sera ouvert en 2017 par SNCF Mobilités.

En novembre, la Région Auvergne/Rhône-Alpes a approuvé un plan de sau-

vetage des petites lignes de trains régionaux. D'un montant total de 264 millions d'euros sur cinq ans, il se concrétisera par délibérations successives du conseil régional jusqu'à 2020. La région verse 111 millions, l'État, 50, et SNCF Réseau, 38 (source AFP). Les collectivités locales seront appelées à compléter.

→ Ponts et tunnels à consolider

Ces travaux d'entretien s'inscrivent dans le contrat de projets État-Région. Des voies sont à renouveler, des ponts et des tunnels, à consolider.

Un rapport de SNCF Réseau avait alerté sur le mauvais état de plus de 1 000 km de voies ferrées, principalement en Auvergne. Leur vétusté engendre des retards et perturbe l'ensemble du réseau régional. ■

900 MILLIONS D'EUROS EN UN JOUR

SNCF Réseau a réussi à lever 900 millions d'euros le 27 octobre, en émettant des obligations vertes (green bonds). Ainsi, la filiale de la SNCF collecte-t-elle des fonds destinés à financer en priorité la rénovation du réseau structurant, le développement de projets et des mesures en faveur de la biodiversité et de la protection des ressources naturelles.

Grâce à un audit externe annuel, ceux qui ont acheté ces obligations sauront si les fonds sont attribués correctement et évaluer leur impact environnemental.

Ces obligations vertes sont certifiées.

FINANCEMENT PLUS ACCESSIBLE DE L'INTERNET À TRÈS HAUT DÉBIT

Début novembre, la Commission européenne a approuvé le régime cadre d'implantation du très haut débit numérique en France.

Les collectivités n'auront plus à notifier, une par une, leur projet de réseau à la Commission pour bénéficier des aides de l'État.

Le plan France très haut débit (THD), auquel l'État apporte plus de 3 milliards d'euros, vise à équiper 50% de la population de liaisons numériques très performantes d'ici à fin 2017, le reste en 2022.

« Cet accord conforte les 93 porteurs de projets (...) représentant plus de 12,5 milliards d'euros d'investissement, écrit le secrétariat d'État chargé du numérique. Il facilitera la recherche de finan-

cements complémentaires comme ceux de la Banque européenne d'investissement (BEI). »

→ 900 millions d'euros en Hauts-de-France

En région Hauts-de-France⁽¹⁾, 681 000 prises à très haut débit seront posées d'ici à 2022. Ainsi en ont décidé le conseil régional avec les conseils départementaux du Nord et du Pas-de-Calais. Les 3 collectivités, à travers un syndicat mixte d'aménagement, viennent de confier le déploiement et l'exploitation de la fibre optique, en délégation de service public, au groupement Axione, Bouygues Énergies et Services, Mirova (financier). La Caisse des dépôts a rejoint les actionnaires de la société de projet, THD 59-62, à hauteur de 30%. L'implantation du très

haut débit dans les Hauts-de-France représente un investissement de 900 millions d'euros dont 250 par les collectivités et l'État. La BEI apporte 105 millions.

→ 370 000 prises en Alsace

L'Alsace s'est aussi engagée dans le très haut débit pour tous avec l'aide de la région Grand Est⁽²⁾. Plus de 370 000 raccordements seront effectués d'ici à 2022, en fibre optique, par Rosace, société détenue par les fonds Quaero Capital et Marguerite, aux côtés de NGE Concessions, Altitude Infrastructure et la Caisse des dépôts. La BEI intervient à travers Quaero. ■

⁽¹⁾ Hauts-de-France : Nord, Pas-de-Calais, Aisne, Oise, Somme.

⁽²⁾ Grand Est : régions Alsace, Lorraine, Champagne-Ardenne.

29 TERRITOIRES HYDROGÈNE

Le Syndicat mixte des transports de Pau (Pyrénées-Atlantiques) réfléchit à l'intérêt d'utiliser des bus à hydrogène, autrement dit à l'électricité produite principalement par une pile à combustible. Le Syndicat observe l'incidence d'une telle filière locale sur les autres sources d'énergie traditionnelles ou nouvelles. C'est un des 29 projets "territoires hydrogène" labellisés par le ministère de l'Environnement et le secrétariat d'État à l'Industrie, en novembre, suite à l'appel à projets de mai⁽¹⁾. L'hydrogène s'obtient à partir d'eau et d'électricité dans un électrolyseur. Les acteurs du domaine imaginent que ce serait un débouché pour les surplus d'électricité, notamment celle d'origine renouvelable. L'hydrogène peut être stocké puis utilisé comme énergie⁽²⁾.

→ Stations service

Citons un autre projet lauréat, celui présenté par le pôle d'excellence régionale Énergie 2020 (Dunkerque, Hauts-de-France), animateur d'un groupe de travail sur ce thème.

Il coordonne les projets EffiH2. Il s'agit d'implanter des stations service d'hydrogène ouvertes au public à côté des usines qui en produisent pour leurs propres besoins.

Engie est partie prenante des EffiH2. Il produit localement, dans la région, de l'hydrogène chez des industriels. Le fournisseur d'énergies contribue à 8 autres projets lauréats.

⁽¹⁾ www.developpement-durable.gouv.fr/Segolene-Royal-et-Christophe.html

⁽²⁾ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/010177-01_rapport_cle2be959.pdf



© ENGIE

Engie contribue à 9 projets.

CANALISATEURS : L'ACTIVITÉ SE REDRESSE

L'organisation professionnelle des entreprises d'eau et d'assainissement, Canaliseurs de France, estime que leur activité a évolué entre -1 % et +1,5 % sur 2016 par rapport à 2015 où elle avait reculé de 8 %.

Elle constate donc un ralentissement de la chute du chiffre d'affaires qui devrait se stabiliser en 2017.

Le principal problème est le niveau des prix exceptionnellement bas. Certaines entreprises se convertissent à la pose de réseaux numériques.

Rappelons que 20% du volume d'eau potable fuit en chemin, soit 1 milliard de mètres cubes et 100 millions d'euros gaspillés par an.

GRUPE DE TRAVAIL DIGUES

Un des groupes de travail de Novabuïld travaille sur les digues en terre. Il a entrepris d'en lister les techniques de renforcement, a dressé un état des lieux, repéré les manques, et ressorti les besoins d'innovation.

Il recherche des lieux où expérimenter de nouvelles techniques comme un procédé de modification interne de digue et un dispositif remplaçant l'enrochement.

Le groupe de dix-sept personnes représentant dix structures publiques et privées est rattaché à Novabuïld, pôle génie civil écoconstruction, créé en 2012, à l'initiative des grands centres de recherche du domaine en Pays-de-Loire.



Digue en terre au bord de l'Isère, en crue.

POLITIQUE INFRASTRUCTURES CLÉS EN MAIN POUR LE PROCHAIN QUINQUENNAT



Les travaux liés au Grand Paris Express - ici à Saclay (Essonne) - contribuent à hauteur de 1% à la hausse de l'activité des travaux publics.

La Fédération nationale des travaux publics (FNTP) a préparé une politique clés en main en faveur des infrastructures, à destination du futur Président de la République. En attendant les élections d'avril-mai 2017, elle a présenté aux candidats ses 12 propositions de relance de l'investissement et les invite au Forum des travaux publics, le 23 février à Paris. À cette occasion, elle leur propose de signer une charte d'engagement sur les grands principes d'une « vision pour le quinquennat sur ce que doit être une politique d'infrastructures et d'attractivité du territoire », a indiqué Bruno Cavagné, son président. Cette charte souligne la nécessité d'investir, d'avoir une gouvernance spécifique aux infrastructures, d'instaurer une paix avec les collectivités territoriales et de réfléchir au paiement par les usagers. »

La FNTP estime qu'il faut changer de méthode et se fixer une ligne de conduite. Elle a formalisé juridiquement ses propositions⁽¹⁾.

Elle estime, en premier lieu, qu'il faudrait créer un conseil d'orientation des infrastructures, instance de réflexion, rattaché au Premier ministre. Ses 36 membres travailleraient à partir du rapport Duron (juin 2013).

→ Projets à régime juridique spécifique

Les conclusions de ce conseil alimenteraient une loi d'orientation et de programmation des infrastructures. Celle-ci retiendrait les projets nationaux prioritaires, leur calendrier, leur financement,

et leur ouvrirait un régime juridique spécifique afin d'accélérer leur concrétisation et d'éviter les recours interminables. La Fédération souhaite que les régions influent davantage sur les décisions en matière de voies de communication, au titre de l'économie des territoires.

→ Péages routiers

En ce qui concerne le financement des infrastructures, elle entend donner plus d'autonomie à l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (Afitf), avec un pilotage pluriannuel à l'abri des « aléas liés aux arbitrages budgétaires annuels ». Lui seraient accordées une part plus stable de la Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE) ou de la Contribution climat énergie, par litre de gasoil routier, et la possibilité d'emprunter. Les groupements de communes pour-

raient instaurer localement une taxe additionnelle à la TICPE pour la voirie. Communes et départements auraient l'autorisation de créer des péages, par exemple sur les déviations en ville.

Un arrêté ouvre la possibilité qu'un investissement prévu pour un projet soit reporté sur un autre, en cas de retard du premier (8^e proposition). Un autre texte inscrirait des dépenses d'entretien en section investissement, de façon à les financer par le Fonds de compensation de la TVA⁽²⁾.

Enfin, la trésorerie des entreprises serait détendue par plusieurs mesures sur les échanges financiers avec les pouvoirs publics (11^e proposition). ■

⁽¹⁾ Détails sur www.fntp.fr, rubrique publications.

⁽²⁾ Prêt à taux nul ou très faible sur la part de la TVA reversée par l'État aux collectivités.

REDRESSER L'ACTIVITÉ

Le chiffre d'affaires des travaux publics a baissé de 27% par rapport à 2008, à 38 milliards d'euros en 2016, au lieu de 47. Toutefois, il a repris 3% par rapport à 2015 grâce au Grand Paris Express (1%) et aux travaux communaux (2%).

« La puissance publique ne mesure pas que les travaux non faits aujourd'hui coûteront plus cher demain et que le pays n'est pas préparé à ses besoins futurs en infrastructures, » écrit la FNTP, d'où un impact négatif sur toute l'économie.

Malgré la nécessité de réduire les dépenses publiques, la Fédération propose des moyens de redresser l'activité durablement (voir ci-contre).

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : REPRISE TIMIDE EN 2017

La production de matériaux de construction devrait être plus soutenue en 2017 qu'en 2016, avec une hausse attendue de 2% pour les granulats et de 3% pour le béton prêt à l'emploi⁽¹⁾, selon l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem). Le marché sera davantage tiré par le bâtiment résidentiel que par les travaux publics.

À fin octobre 2016, les chiffres montrent un arrêt d'une tendance à la baisse, très marquée en 2015 (-7% tous matériaux confondus). Sur un an, depuis novembre 2015, les granulats se stabilisent à -0,5% avec 326 tonnes produites, tandis que le BPE croît de 1,9%, à 35,8 millions de mètres cubes.

→ **Label RSE**

La production en Île-de-France remonte de 2% sur la même période. « *Le chantier du Grand Paris Express ne fait que compenser la baisse sur la région,* »



La carrière du Pouzin (Ardèche) contribue à la mise en valeur d'un prieuré.

constate Michel André, président de l'Unicem. Face aux incertitudes, les industriels font cinq propositions de

relance auprès des candidats aux élections présidentielles.

Citons la reconnaissance de la Responsabilité sociétale des entreprises à travers un label RSE dont l'Union prépare le référentiel pour 2017.

À cette occasion, seront créés des indicateurs, par exemple sur la santé et la sécurité des salariés afin de mesurer leur amélioration, et sur l'emprunte locale en terme d'emploi, méconnue.

Ils demandent que l'État opte pour le mieux disant au lieu de moins disant dans l'attribution de ses marchés. Ils souhaitent aussi que la réglementation sur l'accès à la ressource et les permis d'exploiter soit stabilisée. Ils s'engagent à plus de concertation avec le public. ■

⁽¹⁾ Granulats et béton prêt à l'emploi sont les deux principaux matériaux de construction en volume.

PRIX EUROPÉEN DÉVELOPPEMENT DURABLE

La carrière Lafarge du Pouzin (Ardèche) a reçu un des prix européens du développement durable, remis par l'Union européenne des producteurs de granulats, à la mi-novembre. Elle a été distinguée pour son partenariat avec la collectivité locale.

Cette carrière a mis en place une large consultation en faveur de la biodiversité sur le plateau de Rompon et de la conservation des vestiges du prieuré clunisien Saint-Pierre-de-Rompon, jouxtant le site.

Sept autres sites d'extraction de granulats ont été récompensés pour leurs bonnes pratiques en Autriche, au Royaume-Uni, en Espagne (2 carrières), Allemagne, Suisse, et Finlande.

www.uepg.eu

IMMEUBLE SURÉLEVÉ À LA DÉFENSE



L'immeuble Michelet, à la Défense, dans sa version de 2018.

L'ancien immeuble Coface situé cours Michelet à Paris-La Défense (Hauts-de-Seine), va être surélevé. Sept étages s'ajouteront aux 8 existants, côté boulevard circulaire, et 3, côté parvis.

Par ailleurs, le bâtiment gagnera de la surface en sous-sol grâce à l'occupation d'un local inutilisé, mesure conservatoire pour une éventuelle gare du métro de la ligne 1, jamais ouverte. Le nouvel immeuble sera visible fin 2018.

Les surélévations sont réalisées en structure métallique et planchers en bois. La surface de bureaux augmente de

10 000 m² pour atteindre 38 000 m². Eurosic, propriétaire, a confié la transformation du site à Eiffage Construction - Grands Projets et Tertiaire.

→ **Certifications environnementales**

L'architecture a été conçue par Crochon Brullmann et associés avec Architecture et Environnement.

L'ancienne verrière inclinée disparaîtra au profit d'une façade vitrée. Des terrasses et des balcons végétalisés ouvriront sur le hall central. Le bâtiment vise deux certifications environnementales à leur plus haut niveau. ■

GINGER CEBTP AVEC IRHIS

Ginger CEBTP a signé une convention avec Irhis, bureau sénégalais d'ingénierie et de supervision des travaux d'infrastructures, dans le but de développer leur activité d'ingénierie au Sénégal et en Afrique de l'Ouest.

Le premier sera assistant technique pour Irhis et se chargera des analyses des matériaux tandis que son partenaire coordonnera les opérations. Les deux ont déjà travaillé ensemble en 2015, au Sénégal, sur le Projet d'appui au transport et à la mobilité urbaine.

REDBIRD S'ALLIE À AIRWARE

Redbird, spécialisée dans le traitement des données collectées par drone, rejoint Airware, opérateur de survols avec ces petits engins autonomes. Redbird est implantée à Paris et à San Francisco (Californie, États-Unis) là où est basée Airware.

L'entité ainsi formée propose l'utilisation de drones dans les mines, les carrières et la construction⁽¹⁾. Un tel engin peut collecter des données sur 400 ha par jour. Les analyses sont de plus en plus détaillées et de plus en plus rapides.

⁽¹⁾ Cf. Travaux, avril-mai 2015, n°914, page 15 et octobre 2015, n°918, page 13.



Les drones ont de plus en plus de capacité.

GEOCYCLE FRANCE DEVIENT SAPPHIRE

Ne dites plus Geocycle France, dites Sapphire. L'activité traitement et valorisation de déchets d'Eqiom a changé de nom, début novembre. C'est conforme aux dispositions de la fusion entre Lafarge et Holcim en 2014. Eqiom, entité d'Holcim France, avait été cédée à CRH qui a continué à utiliser la marque Geocycle jusqu'à fin octobre, comme prévu.

NGE EN ILLE-ET-VILAINE

NGE se rapproche de deux entreprises en Ile-et-Vilaine. Le groupe et sa filiale GTS envisagent un développement commun avec Daquin, spécialiste des fondations profondes et soutènements (200 salariés).

Par ailleurs, NGE opère une percée dans les grands projets de bâtiment grâce au rapprochement avec Cardinal Édifice (infrastructures et bâtiment), démarche qui attendait, fin 2016, l'accord des autorités de la concurrence. La famille Cardinal entre au capital de la holding du groupe.

TOUR À ÉCAILLES DE VERRE

La tour Alto, livrable en 2020 côté Courbevoie à la Défense (Hauts-de-Seine), sera reconnaissable par sa forme, plus étroite en bas qu'en haut : 700 m² en pied et 1 500 au sommet. Sa façade, une double peau isolante, sera recouverte d'écaillles de verre. Haute de 150 m, avec 38 étages et 51 000 m², elle remplace un immeuble de bureaux et s'accompagne de commerces, d'une place et d'un parking.

Le désamiantage et la démolition de l'ancien bâtiment ont eu lieu fin 2016. Au 1^{er} trimestre 2017, commencent les fondations de la tour, l'accès au parking et la dalle de couverture de la rue Louis Blanc.

Les travaux sont confiés à Bouygues Bâtiment Île-de-France Construction Privée. Le promoteur est Linkcity Île-de-France, filiale immobilière de Bouygues Construction, qui a signé avec le fond Abu Dhabi Investment Authority, un contrat de promotion de 200 millions d'euros.

VINCI EN COLOMBIE

En Colombie, Vinci Highways a remporté avec Conconcreto un partenariat public privé de trente ans pour la construction d'une troisième voie de 65 km sur l'autoroute entre Bogota et Girardot, ainsi que l'exploitation des 141 km de cet axe.

Le contrat de 1,3 milliard d'euros comprend un chantier sur cinq ans dont la construction de 4 tunnels bidirectionnels.

DRAGAGE D'UN BARRAGE EN ALTITUDE



© TOURNAUD

Engins et plates-formes de travail ont été acheminés par camion sur des routes de montagne avec tunnels.

Le dragage du barrage hydroélectrique de Luzzone, à 1 600 m dans les Alpes suisses, a commencé cet été et se terminera en 2017 : 140 000 m³ de sédiments seront extraits puis déplacés dans une zone de confinement en amont du barrage (lac).

Ces matériaux se sont accumulés au fond de la retenue dont la profondeur va

jusqu'à 200 m, sur une épaisseur qui dépasse les 130 m.

Leur évacuation est nécessaire pour que les organes de manœuvre du barrage fonctionnent bien et pour ausculter la prise d'eau.

Ofible, le producteur suisse d'électricité, a confié ces travaux de 11 millions d'euros à Tournaud. Pour travailler, la filiale

de Vinci Construction a fait réaliser un meilleur accès à la retenue, construire une plate-forme de mise à l'eau du matériel nautique et une digue pour créer la zone de confinement.

Etant données les conditions d'accès difficiles au chantier - routes sinueuses, tunnels étroits - Tournaud a modélisé en 3D le passage des camions d'approvisionnement et opté pour des engins démontables.

→ 3 millions d'euros de matériel spécifique

L'entreprise a investi 3 millions d'euros dans du matériel spécifique afin de draguer 600 m³ par jour : deux barges à clapet de 80 m³, une plate-forme de 18 m par 30 portant une pelle à câble de 130 tonnes (Liebherr) et une benne de 10 m³.

Depuis le printemps 2016, 60 000 m³ de matériaux ont été dragués, le reste le sera après l'hiver, en quatre mois. Alors seulement, la grille de la prise d'eau pourra-t-elle être dégagée grâce à un système de pompage Air-lift - injection d'air comprimé dans une canalisation verticale afin d'y entraîner le liquide s'y trouvant - puis auscultée. ■

RÉFECTION D'UNE RETENUE EN CÔTE-D'OR

Le barrage de Pont-et-Massène (Côte-d'Or) a été inauguré en novembre dernier après deux ans de travaux (15,7 millions d'euros).

Construit en 1882 à 5 km de Semur-en-Auxois, au nord-ouest de Dijon, sa sécurité devait être renforcée.

L'ouvrage, positionné sur l'Armançon, sert de réservoir d'eau au Canal de Bourgogne, navigable et parallèle à la rivière dans le secteur. Il constitue aussi un stock d'eau pour les communes voisines et un moyen d'évacuer le trop-plein des crues. Le lac de plus de 6 km ainsi formé attire les touristes.

Les travaux ont d'abord consisté à retrouver le volume de stockage d'origine. Le pied de la digue a été curé et 8 000 m³ de sédiments ont été déplacés en amont du barrage pour créer un haut-fond, propice à la reproduction des poissons. Le seuil de l'évacuateur de crues, au sommet de la retenue, a été descendu de 3 m. Il dégage le passage à 550 m³/s d'eau contre 145 auparavant. Deux clapets automatisés de 7 m de large sur 4 de haut ont été incorporés ainsi que trois



© GREGORY GIRARD

Vue de l'évacuateur de crues, approfondi de 3 m afin de réagir plus tôt aux crues.

hausses fusibles d'ultime secours, de 5 par 4. La falaise du côté de l'évacuateur a été confortée.

→ Fondations renforcées

Afin de réduire le lessivage des joints de maçonnerie par l'eau, une membrane d'étanchéité a été posée sur le parement amont de la digue. L'eau qui s'accumu-

lerait entre les deux est évacuée vers l'aval.

Les fondations ont été renforcées par injection et leur drainage, amélioré.

Voies navigables de France qui gère le site pour l'État, a profité de la sécurisation du barrage pour moderniser tous les organes de fonctionnement. ■

AMÉNAGEMENTS CYCLABLES

VÉLOS PRIORITAIRES SUR UN GRAND GIRATOIRE

Les pistes cyclables et l'ouverture des voies de bus aux vélos ne suffisent pas à favoriser ce mode doux, notamment quand il faut traverser de grands carrefours. À Nantes Métropole, le nombre de cyclistes a diminué sur les trajets entre l'extérieur de l'agglomération et le centre. Les 40 km de périphérique sont traversés par 76 franchissements inférieurs ou supérieurs, mais les trois-quarts sont sans aménagement cyclable. Le périphérique décourage les cyclistes notamment à la Porte de la Chapelle, au nord, entre Nantes et La Chapelle-sur-Erdre. À cet endroit, sept voies débouchent sur un giratoire au-dessus du

périphérique : 4 bretelles d'entrée et sortie, un axe nord-sud, un est-ouest plus une autre route.

En 2012, les deux collectivités locales décident de résoudre ce point noir. Le réaménagement du giratoire a eu lieu du 11 juillet au 28 août 2016. Il a coûté 250 000 euros TTC, soit beaucoup moins qu'une passerelle au-dessus de l'échangeur.

→ Améliorer la visibilité

La création d'un anneau cyclable sur le bord extérieur du giratoire de la Porte de la Chapelle fait l'objet d'une expérimentation suivie par le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la

mobilité et l'aménagement (Cerema). Les véhicules à moteur doivent céder le passage aux cyclistes.

Place a été faite aux vélos en réduisant de 10 m à 8 la largeur des deux voies automobiles du giratoire. Un trottoir accueille les piétons. L'anneau cyclable est, autant que possible, placé de façon à couper perpendiculairement les routes et à distance du giratoire. Ainsi la voiture qui s'approche du carrefour cède-t-elle d'abord le passage à un vélo, puis elle cède le passage avec les véhicules présents dans le giratoire. Les "coins" entre voies d'accès et giratoire ont été "rabetés" pour dégager la visibilité entre modes de transport. La voie cyclable est recouverte d'un enduit de couleur avec le logo vélo.

→ Évaluation au printemps

Avant travaux, 80 cyclistes empruntaient le giratoire en heure de pointe. Il y a de la marge avant que ce trafic ne provoque des bouchons, estime Fabrice Bichon de la mission déplacements doux de la métropole⁽¹⁾. Le Cerema publiera une première évaluation au printemps. Il compte piétons et cyclistes, observe l'allure des vélos et leur positionnement sur l'infrastructure et les interactions avec les automobilistes. ■

⁽¹⁾ Intervenu à la journée technique Cerema, Plan vélo et mise en œuvre, 22 novembre, Vannes (Morbihan).



© NANTES MÉTROPOLE

Les véhicules s'arrêtent avant le giratoire pour laisser passer les vélos.

CHAUSSÉE À MARQUAGE FRANCHISSABLE

Comment donner une place aux vélos sur une chaussée étroite et sans réduire le trottoir ? Concarneau (Finistère) a opté pour une chaussée centrale banalisée longée par deux bandes cyclables sur les côtés⁽¹⁾. Celles-ci sont délimitées par un pointillé blanc que les voitures ont l'autorisation de franchir pour se croiser. De plus, cette solution ralentit la circulation.

Le service développement durable a travaillé sur cette solution implantée sur plusieurs voies pour un total de plus de 3 km, avec celui de la voirie, celui de la citoyenneté et le bureau d'études municipal.

L'aménagement, réalisé en 2014, est suivi par un comité incluant des usagers.



© CONCARNEAU

Les voitures roulent au milieu et débordent sur la partie vélo quand elles se croisent.

Avec le recul, il ressort que les vacanciers sont déroutés par le marquage.

Faut-il les en informer à l'office du tourisme ?

→ Chaucidou

La population passe de 18 000 habitants en saison basse à 40 000, en été.

Pour plus de visibilité, les bandes cyclables pourraient être en enrobé grenailé, plus visible. Cette solution, baptisée Chaucidou par le Cerema, figure dans les recommandations du Plan d'actions pour les mobilités actives (15 fiches, www.certu-catalogue.fr). ■

⁽¹⁾ Intervention de Nicolas Bernard à la journée technique Cerema, Plan vélo et mise en œuvre, 22 novembre, Vannes (Morbihan).

PELLE POIDS LOURDS

La pelle sur chenilles R980 SME (super mass excavation) peut faire basculer des roches jusqu'à 1 000 tonnes, en faire glisser jusqu'à 100 tonnes et en soulever d'une trentaine de tonnes. Elle est utilisée dans les carrières de marbre de Carrare (Italie) par la société Gualtiero Corsi. L'engin de Liebherr, qui pèse près de 100 tonnes tout en restant relativement compact, évolue lentement mais avec précision. Il est doté d'un châssis renforcé associé à un contrepoids lourd.



© LIEBHERR

L'engin fait glisser des blocs de 100 tonnes.

RÉSERVATION FACILE

Le Modulain occupe l'espace où passeront canalisations et câbles à travers une dalle, le temps de couler le béton. Il s'agit d'une sorte de pot en carton avec un couvercle, posé sur un socle. Celui-ci se fixe dans le treillis et le coffrage à l'endroit du futur trou.

Une fois le béton coulé et séché, le couvercle en plastique et le fourreau en carton s'enlèvent. Le centre du fond se détache à l'ouverture souhaitée (diamètres de 158, 275 ou 415 mm). Après pose de la canalisation, reboucher autour. Ce système de réservation pour dalle de 20-23 cm, a été imaginé par un artisan et développé par TMP Convert.



© TMP CONVERT

Le Modulain a presque disparu une fois qu'il a joué son rôle.

ÉLÉVATEUR COMPACT

L'élévateur télescopique P 30.10 peut lever jusqu'à 3 tonnes à 10 m. Il est compact - 4,60 m de long sur 2,12 m de haut - et intègre des stabilisateurs. L'engin, fabriqué et commercialisé par Merlo, roule jusqu'à 40 km/h. Le capot a été conçu pour bien voir dans toutes les directions. La cabine, bien large, est fixée en position basse sur le châssis, avec une seule marche d'accès.

Le P 30.10 est équipé d'un système simplifié de contrôle dynamique de la charge qui avertit l'utilisateur en cas de risque de basculement.



Levée jusqu'à 3 tonnes à 10 m.

CAPTEUR PHOTOVOLTAÏQUE À RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

Voici un système qui récupère la chaleur produite par des capteurs solaires photovoltaïques et l'injecte dans un bâtiment, ce qui accroît leur rendement. Les panneaux photovoltaïques sont reliés à des capteurs aérothermiques qui transfèrent l'air chaud vers le volume à chauffer. L'Easyroof Boost'R, conçu par IRFTS, a été installé dans une maison à La Souche (Ardèche).

ERRATUM

Une erreur s'est glissée dans l'article « Les trois dernières stations du métro souterrain de Singapour » de la revue TRAVAUX n°929, il faut lire « CCL6 » au lieu de « CC06 ». Cette correction porte sur 3 endroits de la page 61 : colonne 1 ligne 21, légende 3 français ligne 3, légende 3 anglais ligne 3. Veuillez nous en excuser.

CONCILIER BIODIVERSITÉ ET INFRASTRUCTURES



Les ouvriers de ce chantier ont été sensibilisés à l'environnement par le théâtre.

La sensibilisation à l'environnement des ouvriers du chantier de la digue des Doraux (Île de Ré, Charente-Maritime) a reçu un des prix "Infrastructures pour la mobilité, biodiversité et paysage" de l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Iddrim), en décembre. Expliquer pourquoi des procédures spécifiques sont mises en œuvre, contribue à les faire respecter.

Sont impliquées dans la démarche : la Fédération régionale des travaux publics (FRTP) de Poitou-Charentes avec les entreprises Ré TP (filiale de Malet) et Eiffage Route Sud-Ouest.

La sensibilisation du personnel a commencé en décembre 2015 par deux interventions théâtrales de vingt minutes par la compagnie Brasseurs d'idées, sur chantier et en salle. Vu leur succès, la commission développement durable de la FRTP et les entreprises réfléchissent à des actions complémentaires : fiches pédagogiques, application sur téléphone portable, etc.

L'Iddrim a récompensé quatre autres initiatives en faveur des écosystèmes et du paysage.

→ Plantes destructrices

Noremata porte le projet Gestion des renouées asiatiques invasives qui a obtenu un prix Génie écologique. Ces plantes, introduites en Europe pour leur qualité décorative, envahissent les friches puis les bords de routes, au détriment

d'autres végétaux, et détériorent chaussées, fossés et digues.

L'entreprise, spécialisée en matériel et services pour l'environnement routier, s'est associée à l'École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires-Université de Lorraine, à l'association de botanistes Floraine et aux Amis de la chèvre de Lorraine.

Leur projet fait le point sur la plante, recense les moyens de lutter contre son expansion et étudie sa valorisation par méthanisation. De nouvelles méthodes pour s'en débarrasser seront testées avant de diffuser des préconisations simples auprès de tous les gestionnaires de routes et de paysage.

→ 1 550 collisions avec les animaux

Le Conseil départemental de la Haute-Garonne a remporté un prix dans la catégorie Paysage urbain et rural, pour sa gestion des alignements de platanes en bord de route, dont un guide de bonnes pratiques.

La Direction interdépartementale des routes Centre-Est (Dir CE) a remporté le grand prix de l'Iddrim pour son travail sur les heurts entre véhicules et animaux avec le Museum national d'histoire naturelle. Il s'agit de déterminer si la faune a des passages privilégiés et lesquels, afin de la protéger à ces endroits, ou non et selon les espèces.

En 2015, la Dir CE a recensé 1 550 collisions sur ses 1 200 km de réseau.

Le Museum a identifié 43 zones d'agrégation d'accidents dont 13 de forte intensité.

→ Limiter l'emprise écologique d'un atelier

Enfin, une mention a été attribuée à la réduction de l'impact de la construction d'un atelier-garage de la SNCF à Massy-Palaiseau (Essonne) sur des espèces protégées. Le bâtiment a été disposé de façon à conserver 90 % des Orobanches pourpres (plantes) et des pelouses sèches associées. Partenaires : Systra, Rainette (bureau d'études) et Colas Île-de-France Normandie. ■



La renouée asiatique détériore les chaussées.

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 7 AU 9 MARS

Rencontres géosynthétiques

Lieu : Lille

www.rencontresgeosynthetiques.org

• 15 ET 16 MARS

GC 2017, génie civil et aménagement des métropoles

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)

www.afgc.asso.fr

• 26 AU 29 MARS

Reconvertir les friches polluées

Lieu : Paris

www.ademe.fr

• 29 AU 30 MARS

3^e assises de la construction métallique

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)

www.construiracier.fr

• 6 AU 8 AVRIL

Congrès structures

Lieu : Denver (Colorado, États-Unis)

www.structurescongress.org

• 19 ET 20 AVRIL

Créativité et innovation en conception de structures

Lieu : Bath (Angleterre)

www.iabse.org

• 30 MAI AU 2 JUIN

Thermique des mers et océans, 25^e congrès français de thermique

Lieu : Aix-Marseille Université

www.congres-sft.fr/2017/

• 5 AU 9 JUIN

Conférence européenne sur l'adaptation au changement climatique

Lieu : Glasgow (Écosse)

<http://ecca2017.eu>

• 6 AU 8 JUIN

Le futur du ciment

Lieu : Paris (Unesco)

www.futureofcement2017.com

• 20 AU 22 JUIN

Salon ville sans tranchée

Lieu : Chatou (Yvelines)

www.fstt.org

FORMATIONS

• 6 ET 7 MARS

Performances d'un projet urbain face à la transition énergétique

Lieu : Paris

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

• 7 ET 8 MARS

Conduire des projets d'infrastructures de transport

Lieu : Paris

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

• 7 AU 9 MARS

Géotechnique et ouvrages en site portuaire

Lieu : Paris

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

• 8 AU 10 MARS

Exigences réglementaires et environnementales des projets maritimes et fluviaux

Lieu : Paris

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

• 14 AU 16 MARS

Maîtriser les effets de l'eau dans les sols

Lieu : Paris

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

• 20 ET 21 MARS

Conception des systèmes énergétiques d'un quartier

Lieu : Paris

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

• 28 AU 31 MARS

Concevoir, dimensionner et suivre les chaussées aéronautiques

Lieu : Paris

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

• 29 ET 30 MARS

Conduire un projet d'aménagement fluvial

Lieu : Paris

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

• 27 ET 28 AVRIL

Dimensions contractuelles, juridiques et économiques en Bim

Lieu : Paris

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

• 3 AU 5 MAI

Évaluer et diagnostiquer l'état d'une plate-forme aéronautique

Lieu : Châteauroux (Indre)

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

• 15 MAI

Ressources énergétiques des gares et des stations du réseau ferré urbain

Lieu : Paris

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

• 15 ET 16 MAI

Le chantier et le Bim

Lieu : Paris

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

• 29 ET 30 MAI

Calcul des structures de soutènement et revêtement des ouvrages souterrains

Lieu : Paris

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

NOMINATIONS

BOUYGUES :

Cyrille de la Borde est le nouveau président de Bouygues Bâtiment Centre Sud-Ouest et gérant de Linkcity (développement immobilier) pour la même

région, à la suite de Philippe Casanova.

EQIOM :

Christophe Bignolas est nommé directeur de la division exploitation ciment.

RATP :

Bruno Angles (financier) a intégré le conseil d'administration de la Régie autonome des transports parisiens. Il succède à Xavier Girre.

SPIE BATIGNOLLES :

Philippe Baduel remplace Nicolas Flamant à la direction des ressources humaines du groupe.

TRANSPORT ROUTIER :

Paul Weick est nommé sous-directeur des transports routiers à la Direction des services de transport du ministère de l'Environnement, poste naguère occupé par Anne Provost-Debar.

BALINEAU

FONDACTIONS SPECIALES ET TRAVAUX NAUTIQUES

- Travaux en sites fluvial et maritime
- Dragage
- Pieux battus / forés
- Palplanches
- Amélioration des sols
 - Drains verticaux
 - Inclusions rigides
 - Compactage par vibrations

Siège social et bureaux :
 3 avenue Paul Langevin
 Enora Park – CS 30039
 33615 PESSAC cedex
 Tél. : +33 (0) 5 57 89 16 78
 Fax : +33 (0) 5 56 07 34 78
balineau@balineau.fr

Agence Antilles / Guyane :
 Rue Nobel – Z.I. de Jarry
 BP 2183
 97195 JARRY cedex
 Tél. : +590 (0) 590 32 59 10
 Fax : +590 (0) 590 26 89 44
Balineau.antilles@balineau.fr

www.balineau.com



1

© DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME

LA CHARENTE-MARITIME PROTÈGE SES CÔTES LES PLUS MENACÉES

ENQUÊTE DE MONIQUE TRANCART

LE DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME PROCÈDE À UN GRAND PROGRAMME DE PROTECTION DE SES CÔTES CONTRE LES SUBMERSIONS MARINES. EN VOICI TROIS EXEMPLES, SUR LE CONTINENT, À L'OUEST DE ROCHEFORT, ET SUR LES ÎLES D'OLÉRON ET DE RÉ. CES OPÉRATIONS INTERVIENNENT EN SITES CLASSÉS.

Une côte abritée peut souffrir des tempêtes. Par exemple, Port-des-Barques (Charente-Maritime) a gravement souffert de Xynthia dans la nuit du 27 au 28 février 2010, bien que la commune soit protégée des vents d'ouest par l'île d'Oléron. La mer est montée jusqu'à inonder le bourg dans l'estuaire de la Charente. Depuis, une trentaine de maisons ont dû être démolies.

La réfection de la "digue en Charente" de 1 350 m est en cours. Elle est rehaussée de 1 m et confortée par un rideau de palplanches, avec alternance d'ancrage et de non ancrages, disposition dite en jambes de pantalon ou en piano. Cinq palplanches sur

six ne s'enfoncent pas dans le sol. Les espaces ainsi ménagés abritent des prises d'eau pour les ostréiculteurs, le plus souvent fermées, ce qui assure l'étanchéité. Cette solution a aussi l'avantage d'économiser la quantité d'acier à mettre en œuvre.

Des enrochements sont disposés devant les palplanches, côté mer. Les vides entre rochers absorbent l'énergie du déferlement des vagues. La pente évite l'affouillement du pied de mur. La mer vient s'y étaler, la houle s'affaiblit. Si la paroi était verticale, en cas de grosse mer, les vagues s'y fracasseraient de plein fouet et formeraient des paquets d'eau (gros embruns) qui iraient s'échouer dans les terres.

1- La digue du Boutillon du XIX^e siècle, sur l'île de Ré, a été reconstruite à l'identique.

Côté terre, une digue perpendiculaire de 250 m vient empêcher que les eaux contourment la digue principale. Elle sera refaite. L'ensemble des travaux à Port-des-Barques se monte à 1,8 million d'euros HT. Démarrés en 2013, ils se terminent cette année. Saint-Trojan-les-Bains, sur l'île d'Oléron, est également relativement à l'abri des excès de la météo car elle

se trouve au sud-est, face au continent. Ce qui ne l'a pas empêché d'être inondée fin février 2010 et d'avoir ses plages, déstructurées. Les dispositifs de défense ont été redéfinis afin de protéger habitations et activités.

Le département est maître d'ouvrage - direction du développement durable et de la mer - et maître d'œuvre - direction des infrastructures.

REMONTER AUX DOCUMENTS HISTORIQUES

L'île d'Oléron est un site classé pour la richesse de ses paysages et de sa faune, et pour des édifices remarquables. Par exemple, le port de Saint-Trojan, qui date du XIX^e siècle, est



© DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME

classé monument historique. La forêt et les marais qui bordent la commune sont des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (Znieff). Les travaux sont donc soumis à l'avis de la commission départementale nature, sites et paysage. Ils incluent des aménagements paysagers. Formes, matériaux et revêtements sont choisis en concordance avec l'environnement. À noter que tout le littoral de Charente-Maritime est en zone Natura 2000. Pour procéder à la réfection des perrés

2- Digue de la Taillée en bord de mer à Saint-Trojan-les-Bains (Île d'Oléron).

3- Les travaux anti submersion marine prennent place à marée basse, une contrainte pour leur planification. Ici, à Saint-Trojan-les-Bains.

maçonnés du port de Saint-Trojan, il a fallu aller chercher dans des documents historiques du XIX^e siècle comment ils avaient été construits. Le bourg est l'une des deux zones de renforcement des ouvrages de protection marine de l'Île d'Oléron qui font l'objet d'opérations à procédure simplifiée⁽¹⁾. Le port est en travaux depuis septembre 2016 : perrés repris et rehaussés en crête d'un muret anti submersion, pose de batardeaux amovibles, levée de terre à l'arrière (protection de second rang

de l'habitat). Des palplanches sont incorporées entre le port et la digue frontale de La Taillée, en bord de mer. La structure de celle-ci est surélevée et les enrochements sont épaissis. Les ouvrages hydrauliques - canalisations à travers la digue - sont repris, et de nouveaux sont installés afin que les eaux marines qui auraient débordé, puissent se retirer à marée basse. Les prises d'eau gravitaires dont les ostréiculteurs ont besoin pour les claires (bassin à huîtres), sont conservées. ▷



© DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME



4

© DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME

Le boulevard de la plage est protégé par un muret anti submersion placé entre le chemin piéton et la voirie.

La seconde opération en procédure simplifiée, toujours sur Oléron, doit débuter en avril pour trois ans. Elle se situe à Boyardville et à La Perrotine, à l'est de l'île : reprise des protections du chenal entre les deux communes, murets anti-submersion et levées de terre de second rang.

119 OPÉRATIONS POST-XYNTHIA

Tous ces ouvrages seront, une fois le chantier terminé, gérés par la Communauté de communes d'Oléron (8 communes, 21 700 habitants permanents),

qui participe à leur rénovation, techniquement et financièrement (20%). Les travaux s'élèvent à 1,5 million d'euros HT à Saint-Trojan et à 8,8 millions sur Boyardville-La Pérotine. D'autres réfections sont prévues, en particulier à La Perroche (ouest).

Ces opérations s'inscrivent dans le Plan d'actions prévention inondations de l'île d'Oléron. Elles font partie du groupe de huit à procédure simplifiée, lancées en Charente-Maritime en 2015 par la mission mer du département, à la suite des 119 opérations d'urgence dites "post-Xynthia". Dix autres opérations sont à l'étude, notamment sur l'Île de Ré et sur la côte.

4- Digue du Boutillon (île de Ré) après reconstruction, avec un nouveau parement de pierres.

5- Travaux du parapet creux de la digue du Boutillon (Ré). À l'arrière, le fond en béton du chemin.

6- Ferrailage du béton armé de la digue du Boutillon (Ré).

L'île de Ré fait aussi l'objet actuellement de travaux de protection.

S'avancant franchement dans la mer, au large de La Rochelle, elle est fortement exposée à la houle, notamment sa côte sud-ouest.

PARAPET EN CREUX, CÔTÉ MER

La digue du Boutillon empêche que l'étroite bande de terre qui relie l'ouest et l'est de l'île, entre Ars et La Couarde, soit submergée.

En 2010, la tempête Xynthia a ouvert deux grosses brèches dans l'ouvrage maçonné de 850 m qui date des années 1850. Son parapet a été endommagé. La route implantée à l'arrière et qui dessert Ars, Les-Portes



5



6

© DÉPARTEMENT DE CHARENTE-MARITIME

LE DÉPARTEMENT EN RENFORT DES COMMUNES

et Saint-Clément-des-Baleines, a été coupée, rendant les secours difficiles. Site classé, la digue a été reconstruite le plus possible à l'identique, sans rehausse.

Côté mer, l'embranchement sur lequel la houle vient déferler a été élargi à 2 m. Sur la crête, le chemin est désormais bordé de murets des deux côtés. Le parapet est courbe (concave) de façon à renvoyer les vagues vers la mer. Si toutefois elles le franchissent quand même, l'eau se stocke sur la digue. À marée basse, des ouvertures dans le parapet laissent refluer vers la plage.

FONDATIONS SURDIMENSIONNÉES

Côté terre, derrière le muret, a été ménagé un caniveau de 1,20 m, avant la route. Lui aussi stocke l'eau jusqu'à 2 000 m³. Il se vidange à marée basse à travers un ouvrage hydraulique.

La nouvelle digue repose sur un fond de forme en remblais compactés et drainant. Elle est consolidée par des palplanches.

Presque toutes les côtes de Charente-Maritime sont incluses dans la première génération des Programmes d'actions de prévention des inondations (Papi) de l'État. Le département y participe en tant que maître d'ouvrage pour les communes à cause de l'importance de ces opérations d'aménagement. Sur la base de ces actions, le conseil départemental a établi un programme de renforcement des protections littorales, dit plan digues. Les communes et leurs groupements portent la programmation des Papi et la stratégie à mettre en œuvre.

De 2012 à 2017, ces travaux ont été estimés à 150 millions d'euros en Charente-Maritime (voir article ci-contre). L'État prend en charge 50% du montant des études, et 40% des travaux. Le reste est apporté par la région, le département et les communes, à raison de 20% chacun. Ce plan digues, un des plus importants de France, est planifié jusqu'en 2030. « Il couvre un tiers des 450 km de côtes de la Charente-Maritime, indique Sébastien Pueyo, responsable du service protection du littoral du département (mission mer). Ce sont des zones urbanisées à protéger en priorité et qui bénéficient de financements croisés. »

7- Le chantier de la digue du Bou-tillon (Ré), qui a démarré en 2013 et été réceptionné en février 2017, a connu des périodes de suspension dues à la fréquentation touristique.

Les pierres de parement, côté océan, sont taillées dans une roche plus dure que les anciennes.

Le parapet, le fond du chemin et le caniveau sont en béton coulé sur place et liaisonnés, formant ainsi une coque étanche.

Les travaux, commencés en 2013, ont été réceptionnés en février 2017. Coût : 10 millions d'euros HT.

D'une façon générale, ces opérations sont conçues pour faciliter une augmentation du niveau de protection, si nécessaire à l'avenir. Ainsi, les fondations sont-elles élargies et surdimensionnées partout où il y a reconstruction, afin de ne pas avoir à y revenir ultérieurement.

CHANTIERS SOUMIS AUX MARÉES

Les chantiers doivent respecter l'environnement mais aussi ne pas perturber les activités locales : ostréiculture, tourisme et nautisme. « Ils sont soumis au marage, précise Sébastien Pueyo, responsable du service protection du littoral du département (mission mer).

Les chantiers connaissent des périodes de suspension. Le travail a lieu à marée basse, ça peut être tôt le matin, tard le soir. Nous ne devons pas impacter la qualité de l'eau ni gêner l'accès aux plages. » □

1 - Zone dite de solidarité où l'État a racheté des maisons sinistrées en vue de leur démolition.



CALAIS PORT 2015, UNE AVANCÉE SUR LA MER POUR L'HISTOIRE

PREMIER CHANTIER MARITIME D'INFRASTRUCTURES PRIORITAIRES DE L'UNION EUROPÉENNE, CALAIS PORT 2015 A ÉTÉ PENSÉ POUR RÉPONDRE À UN DOUBLE DÉFI : ACCUEILLIR LES FUTURES GÉNÉRATIONS DE FERRIES ET DE ROULIERS ET FAIRE FACE À L'AUGMENTATION DES TRAFICS ATTENDUE À L'HORIZON 2020/2025. **ENTRETIEN AVEC LAURENT DEVULDER, DIRECTEUR TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ DES PORTS DU DÉTROIT.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



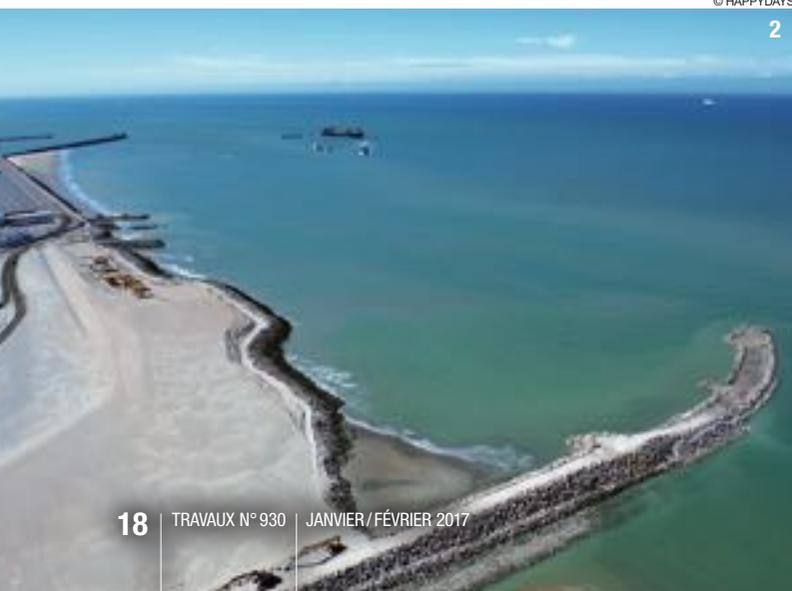
1
© MARC MONTAGNON

CE CHANTIER PERMETTRA DÈS 2021 D'ADAPTER LES INFRASTRUCTURES ET LES ÉQUIPEMENTS PORTUAIRES ACTUELS AUX NAVIRES DE NOUVELLE GÉNÉRATION AINSI QU'AUX NOUVELLES DONNÉES DU TRAFIC MARITIME CALAISIEU. CE QUE NOUS EXPLIQUE LAURENT DEVULDER, DIRECTEUR TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ DES PORTS DU DÉTROIT (SPD), MAÎTRE D'OUVRAGE DU PROJET, QUI RETRACE ÉGALEMENT LA GENÈSE DE L'OPÉRATION.

Pouvez-vous nous présenter, en introduction, dans ses grandes lignes, le port de Calais tel qu'il se situe en 2016 ?

Calais est le premier port de passagers d'Europe continentale, le 4^e port de marchandises français et le 2^e port RORO (Roll-on / Roll-off) d'Europe. Il accueille en moyenne 10 millions de passagers et 43 millions de tonnes de fret par an tandis que 1,8 million de poids lourds transitent par ses installations.

Ses infrastructures ne lui permettaient plus d'assurer une qualité de service et une sécurité équivalentes à celles du port de Douvres, notamment pour la prochaine génération de ferries de plus de 210 m de long dont les manœuvres nécessitent de larges zones d'évitage. Avec une croissance attendue de 40% du trafic de passagers entre Calais et Douvres, représentant actuellement près de 100 mouvements de navires par jour, et un volume de fret qui a triplé en 20 ans, sa limite de capacité



© HAPPYDAYS

2



© HAPPYDAYS

3

1- Laurent Devulder, Directeur technique de la Société des Ports du Déroit.

2- Premiers travaux de remblaiement et de construction de la digue en septembre 2016.

3- Transbordement des matériaux de digue sur barge.

4- Vue aérienne de l'ensemble du projet.

5- La drague Gian Lorenzo Bernini équipée d'une pelle rétro Liebherr 995.



© SPD

CALAIS PORT 2015 EN CHIFFRES

- Une nouvelle digue de 3 km de longueur,
- Un bassin de 90 ha navigables,
- 3 postes pour accueillir des ferries de 240 m de longueur,
- 65 ha de terre-pleins aménagés dont 45 ha gagnés sur la mer,
- 900 millions d'euros d'investissements,
- 2 000 emplois directs, indirects et induits générés au plus fort de l'activité du chantier.

était susceptible d'être saturée à l'horizon 2020.

C'est à ce défi que répond Calais Port 2015, à l'image du port de Douvres qui connaît la même dynamique et a déjà engagé un programme de développement de sa capacité d'accueil (Western Docks Revival Project).

C'est pourquoi la Région Nord - Pas-de-Calais, devenue depuis Région Hauts-de-France, s'est engagée dans le projet Calais Port 2015 qui permettra d'adapter les infrastructures et les équipements portuaires actuels aux données à venir du trafic maritime.

Calais bénéficie d'atouts importants, parmi lesquels la plus courte distance entre le continent et le Royaume-Uni (43 km), la cadence de rotations de ferries la plus importante sur le trans-

manche, une accessibilité autoroutière exceptionnelle ainsi qu'une attractivité importante, due à la présence conjointe du Tunnel sous la Manche et du port.

Quelle a été la genèse de Calais Port 2015 ?

La toute première phase de réflexion du projet remonte au début des années 2000. Presque 15 ans ont ainsi été nécessaires pour établir une stratégie de développement, penser le projet et le mettre concrètement en marche. Pendant ce temps, études, prévisions, montages juridiques et financiers ont précédé le démarrage du chantier.

Il faut resituer le contexte de l'époque. À la fin des années 1980, le bassin Est avait principalement été construit pour traiter le trafic grand vrac - char-

gements de charbon et de minerais - pour diversifier le trafic portuaire. Mais cette activité, en concurrence directe avec celle de Dunkerque a peiné à décoller. Ces aménagements ont néanmoins permis au trafic transmanche d'exploser.

La construction de l'A16 au début des années 90 et l'ouverture du tunnel en 1994 ont contribué à créer un appel d'air et à concentrer les flux sur Calais. Dans le courant de ces années, des aménagements ont été réalisés pour moderniser les quais transmanche. On a construit de nouveaux postes et abandonné les anciens, devenus vétustes : en effet, les navires transmanche des armateurs, de plus en plus grands, ont contraint la place portuaire calaisienne à adapter ses équipe-

ments et à se moderniser petit à petit. Le trafic de voyageurs chutait avec la fin du Duty free, mais le fret connaissait une progression vraiment très importante. Au début des années 2000, il était ainsi le segment le plus important à prendre en compte pour penser l'avenir du port de Calais.

L'arrivée d'une nouvelle équipe au début des années 2000, notamment de Jean-Marc Puisseuseau, président et de Patrick Fourgeaud, directeur général, à la CCI de Calais, a marqué le début d'une réflexion sur la stratégie de développement portuaire.

Au vu de l'importance prise par le transport de fret, le plan stratégique se dirigeait naturellement vers une extension portuaire, destinée à répondre à la demande et à augmenter l'activité de la place.

La question était de savoir comment augmenter le trafic avec la contrainte de ne pas perturber les flux existants. On aurait pu réaliser des travaux in situ et adapter l'existant. Mais il était impensable de fermer même partiellement le port pendant plusieurs années : le trafic se serait reporté vers un autre site et Calais aurait évidemment perdu de son activité. ▶

© SPD

5



Dès lors, l'idée d'une extension a fait son chemin. Pas à l'ouest car s'y trouve la ville ; au sud, il y a une zone industrielle et à l'est, des zones naturelles classées.

Logiquement, les équipes de la CCI ont pensé à un agrandissement côté Nord. Dès 2003, plusieurs projets sont imaginés pour étudier toutes les pistes de développement possibles.

De nombreuses études ont été menées par la suite par la CCI, par l'État qui était à cette époque encore propriétaire du port de Calais, puis par la Région qui a ensuite porté le dossier.

Un long cheminement sur plus de 10 ans a ensuite été nécessaire avant le démarrage du chantier.

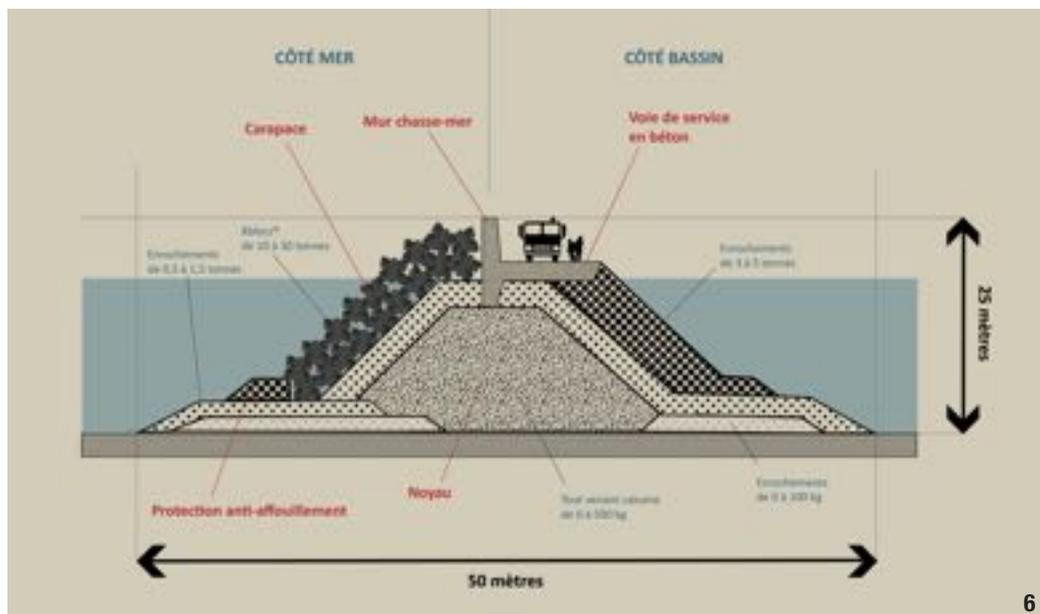
Entre 2004 et 2006, nous avons commencé à étudier la faisabilité du projet. L'idée était de comprendre quelle serait l'évolution du trafic fret dans les années à venir pour que le port réponde à la demande.

De nombreuses études environnementales ont également été menées.

C'est sur la base de toutes ces recherches que Jean-Marc Puisseuseau, président de la CCI, a présenté le projet à la Région en 2007. En effet, dans le cadre de la loi de décentralisation, la Région était devenue propriétaire des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais. Elle a été convaincue et a décidé de porter l'initiative.

En 2009, plusieurs débats publics visant à présenter Calais Port 2015 ont eu lieu à Calais mais également à Dunkerque et à Boulogne-sur-Mer. Son coût estimé de 900 millions d'euros l'exigeait. Le projet a été bien accueilli tant par la population que par les professionnels et les associations environnementales.

Entre 2010 et 2012, la Région a avancé sur toutes les démarches administratives et environnementales en



plus de nouvelles études techniques. En février 2015, le contrat de concession des ports de Calais et de Boulogne-sur-Mer, qui devenaient port unique, était signé entre la Région et la Société d'Exploitation des Ports du Détroit (SEPD).

Comment le projet est-il financé ?

Ce projet s'intègre dans la nouvelle délégation de service public d'exploitation des ports de Boulogne-sur-Mer et de Calais. Son coût total de 900 millions d'euros dont 675 millions de travaux, sera financé par les actionnaires et prêteurs de la SPD pour 630 millions et par une subvention publique de 270 millions dont 98 M€ de fonds Européens.

La Société des Ports du Détroit est la structure spécialement créée pour financer, construire et entretenir pendant 50 ans Calais Port 2015.

6- Coupe-type de la digue avec la carapace en Xblocs® côté mer.

7- Les engins de terrassements et de transport au travail sur les premiers mètres de la digue.

8- Déchargement des blocs d'enrochement transportés par tombereaux articulés Bell B50D de 50 t.

9- Stockage des premiers Xblocs® préfabriqués sur site.

10- Sortie des Xblocs® de l'usine de préfabrication installée sur la nouvelle plateforme.

Le concessionnaire lui a confié la maîtrise d'ouvrage du projet dès la signature du contrat de concession.

Associant la Caisse des Dépôts et Meridiam (qui détiennent à parité 80 % du capital social de l'entreprise) ainsi que les CCI de Région Nord de France et de la Côte d'Opale et le Grand Port Maritime de Dunkerque, la Société des Ports du Détroit a bouclé en juillet 2015 le financement du projet et lancé sa réalisation au terme d'un appel d'offres remporté par un groupement « concepteur-constructeur » regroupant des entités spécialisées des groupes Bouygues Travaux Publics (mandataire), Spie Batignolles et Jan de Nul.

Quelles sont les caractéristiques techniques du projet ?

Calais Port 2015 repose sur la création d'une digue de plus de 3 km et abritera en 1^{re} phase trois nouveaux postes ferrées.



© SPD
7



© SPD
8

Le projet consiste ainsi à réaliser une digue, à terrasser par dragage le fond du futur bassin, et à utiliser les matériaux issus de ces dragages pour construire de nouveaux terre-pleins gagnés sur la mer en les stockant derrière des digues provisoires.

La digue principale servira à protéger la navigation et les équipements du port à l'intérieur d'un bassin de 90 hectares navigables.

Sa carapace composée de Xblocs® est conçue pour résister aux tempêtes et à la montée des eaux dans les cent prochaines années.

Les cotes de la digue sont variables selon les sections mais, globalement, sur la section 1, la plus au large, qui est la plus importante et la plus profonde, elle a une hauteur maximale de 25 m par rapport au fond marin, une largeur en pied de 90 m, hors tapis de protection anti-affouillement, et de 15 m en tête.

Elle comporte en tête un mur chassermer et une voie de service en béton.

Si la digue permet de ceinturer le bassin tout en le protégeant des courants, des houles et des tempêtes, le bassin permettra l'accostage et les manœuvres de ferries de 240 m de long, mais également d'autres types de navires pouvant excéder cette taille. Le bassin abrite ainsi plusieurs zones d'évitage, permettant à plusieurs navires de manœuvrer en même temps.

Qu'en est-il des aménagements de la plateforme de 65 hectares ?

Le projet comprend aussi toute l'infrastructure nécessaire à l'accueil du trafic transmanche : 65 hectares de plateformes et de voiries, dont 45 gagnés sur la mer, ainsi que les bâtiments nécessaires à l'exploitation et à l'accueil sécurisé des clients du port.

LES XBLOCS® : LA CARAPACE DE LA DIGUE

La protection extérieure de la digue contre les agressions de la houle et les chocs éventuels est assurée par une carapace de 15 500 Xblocs® de 4 à 12 m³, dont les plus lourds affichent un poids unitaire de 25 t. Actuellement, 40 Xblocs® sont produits quotidiennement dans une usine de préfabrication installée sur le site.

C'est le bureau d'études Delta Marine Consultants qui a conçu et développé ce produit en 2001. Il s'agit d'un bloc de carapace de digues à imbrication tout à fait innovant, conçu pour la protection des digues, brise-lames et zones côtières sur le long terme et dans des conditions extrêmes.

Simple et robuste, le Xbloc® est d'une grande fiabilité dans la structure de digues. Doté d'une excellente intégrité structurelle, il présente également une très forte stabilité hydraulique. Son moulage et sa pose sont simples et économiques.

Depuis 2004, ce produit contribue à la protection des digues, brise-lames et zones côtières dans le monde entier.

Le Xbloc® est un bloc de carapace en béton monocouche. Le gain obtenu par l'usage des Xblocs® (moins de béton utilisé) est de plus de 15% par rapport aux autres blocs de carapace en béton monocouche.

Cette différence résulte de son fort coefficient de stabilité et de la faible densité de pose requise, ces deux facteurs permettant d'utiliser moins de béton.

L'obtention d'une bonne imbrication ne nécessite aucune orientation particulière des blocs, la pose des blocs est simplifiée, ce qui réduit à la fois le temps de construction et le coût total.

Les postes ferries pourront accueillir des navires de 240 m de long, 36 m de large et 7 m de tirant d'eau.

En adaptant à très long terme la longueur du front d'accostage et la capacité des défenses, des unités encore plus grandes pourraient être reçues. Les remblais de la plateforme seront réalisés à partir du sable issu des dragages du bassin et du terrassement de la grande digue. Une fois les plateformes réalisées, elles accueilleront les différentes activités portuaires : des parkings de pré-embarquement de véhicules pour les ferries (représentant un linéaire de 24 km), des

zones de contrôles, des bâtiments. Le port de Calais prévoit de développer les espaces dédiés aux remorques non-accompagnées et bien sûr aux activités de fret ferroviaire.

La conception du nouveau port intègre les contraintes liées au changement climatique : la digue est dimensionnée pour une houle centennale et elle protégera les installations portuaires des effets de l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100. Sa construction et celle des digues intérieures (perrés) nécessitent 6 200 000 t de matériaux issus prioritairement de carrières locales.

Où en sont les travaux et comment se déroulent-ils ?

L'ouvrage est lancé depuis mars 2015. Des études préliminaires basées sur des investigations bathymétriques, géotechniques et de dépollution pyrotechnique ont eu lieu.

Ce dernier volet a représenté une étape non négligeable : il s'agissait de repérer et extraire les engins explosifs datant de la Seconde Guerre mondiale. Deux cents obus ont été enlevés de la partie terrestre du chantier. Cent soixante-quinze cibles ont été vérifiées par les plongeurs dans la partie maritime. Ce processus n'est d'ailleurs pas terminé. En parallèle, la construction de la digue de plus de trois kilomètres de long a débuté. Elle se traduit par la réalisation, sur le site, des XBlocs®, énormes pièces de béton qui assureront la protection de la digue au large.

Même si les travaux préalables que je viens d'évoquer avaient déjà commencé, la démolition de l'hoverport en décembre 2015 a clairement marqué le démarrage du chantier.

La construction de la digue est le fil rouge de la réalisation de l'extension. Démarrée en 2016, la nouvelle digue du port de Calais sera achevée en janvier 2021. Une première campagne de dragage a été entreprise cette année pour réaliser les souilles de la digue sur les sections 2, 3 et 4 et du perré Est le long duquel seront aménagés les nouveaux postes d'accostage des ferries. Ils ont permis de constituer derrière un cavalier provisoire un premier casier d'environ 800 000 m³ de déblais qui vont former les 10 premiers hectares gagnés sur la mer du futur terre-plein du nouveau port. Lorsque ce perré aura été réalisé, une deuxième campagne de dragage sera entreprise pour constituer les 45 ha finaux des terre-pleins gagnés sur la mer. ▶

© SPD



© SPD



Les premiers travaux d'enracinement de la digue, sur la section 5 et une partie de la section 4 sont réalisés depuis la terre, sans dragage, sur une longueur d'environ 500 m.

Au-delà, une souille est draguée sur toute la longueur de la digue par voie maritime et stabilisée rapidement par la mise en œuvre de matériaux qui vont constituer la base du noyau, c'est-à-dire la fondation de la digue et ses butées en pied.

Les carrières locales n'ayant pu s'engager sur la fourniture journalière de matériaux dans des quantités suffisantes, le groupement constructeur a donc fait appel à des carrières norvégiennes et espagnoles. Elles fournissent notamment un « wide grade » de granulométrie 0/200 pour le noyau et des enrochements plus gros pour les butées de pied et les tapis anti-affouillement, l'ensemble représente un volume de l'ordre de 1,7 million de tonnes, mis en œuvre par des barges ouvrantes ou basculantes.

Le tapis anti-affouillement, d'une largeur de 30 m, réalisé devant les sections 1, 2 et 3, qui sont les plus exposées, est constitué de blocs d'un poids de 0,3 t à 1 t.

À l'issue de la mise en œuvre de ces matériaux par voie maritime, le reste de la digue peut être construit à l'avancement, par voie terrestre, à l'aide d'engins circulant sur le noyau, qui sera complété par des matériaux tout-venants 0/500.

Le corps de digue est alors complété par une sous-couche de 2 m d'épaisseur en matériaux de granulométrie 2/5 t puis par la mise en œuvre côté mer de 15 500 Xblocs® de 4 à 10 m³ disposés en 14 rangs sur une épaisseur de 2,50 m à 3 m.

L'extrémité de la digue au large, la partie la plus exposée aux houles d'ouest



© B'NT COMMUNICATION

11

UNE DIGUE EN MATÉRIAUX LOCAUX

85% des matériaux mis en œuvre pour la construction de la digue et des terre-pleins proviennent des carrières situées à proximité du site, sur une route surnommée dans la région « La Route des Carrières ».

Cette Route Départementale 231 se développe entre la ville de Marquise et le village de Caffiers, tous deux dans le Pas-de-Calais.

De part et d'autre de cette voie, trois sociétés d'extraction de granulats, « Les Carrières du Boulonnais », « Les Carrières de la Vallée heureuse » et « Les Carrières du Stinkal », exploitent les calcaires du bassin marquisien. Même si elles sont très proches géographiquement, chacune d'elle exploite un gisement de calcaire différent en termes de couleur, de qualité et d'usage : marbre, sable, chaux, granulats pour voirie et pour béton sont des produits qui sortent au quotidien des entrailles de la terre pour l'ensemble des industries de la région.

Pour le chantier de Calais 2015, les quantités à mettre en œuvre sont tellement importantes que les trois carrières se sont associées pour pouvoir faire face aux cadences demandées dans toutes les gammes de produits et ont formé le GIE « Carrières du Boulonnais ».

Pour la partie terrestre, ce sont en moyenne 8 000 t qui transitent sur les routes du département au quotidien pour alimenter le chantier. Ces produits sont stockés sur le site des travaux pour être repris ensuite et mis en œuvre sur la digue et les perrés.

et du nord, est constituée d'un musoir dont la conception est en cours de finalisation. Sa construction devrait faire appel à des blocs de 12 m³.

Un perré situé à l'est du bassin forme un talus en enrochement sur lequel

viendront s'appuyer les ouvrages de génie civil des nouveaux postes d'accostage des ferries et qui abritera également l'ensemble des installations portuaires sur les terre-pleins gagnés sur la mer.

Les quais du port actuel sont à la cote marine + 9,30 CM. Les nouveaux quais seront à + 10,50 CM. Toutes les modélisations du projet intègrent une hausse du niveau de la mer de 1,20 m, qu'il s'agisse des capacités anti-franchissement de la digue ainsi que de ses capacités à résister aux houles extrêmes.

Le nouveau bassin aura une profondeur maxi de 21,50 m (-11 CM) obtenue par dragage d'un volume de matériaux de plus de 3,5 millions de m³.

Quelle conclusion ?

Les investissements réalisés dans le cadre de Calais Port 2015 permettront à terme de doubler la capacité d'accueil du port de Calais. L'ambition partagée par tous les partenaires du nouveau port est tout simplement de doter la nouvelle place portuaire des moyens d'envisager sereinement les 50 prochaines années.

En effet, les nouveaux équipements se veulent flexibles, modulables et respectueux de l'environnement. La conception de Calais Port 2015 respecte strictement les engagements de préservation de la flore et de la faune pris par la Région Hauts-de-France devant le Conseil National de la Protection de la Nature. □

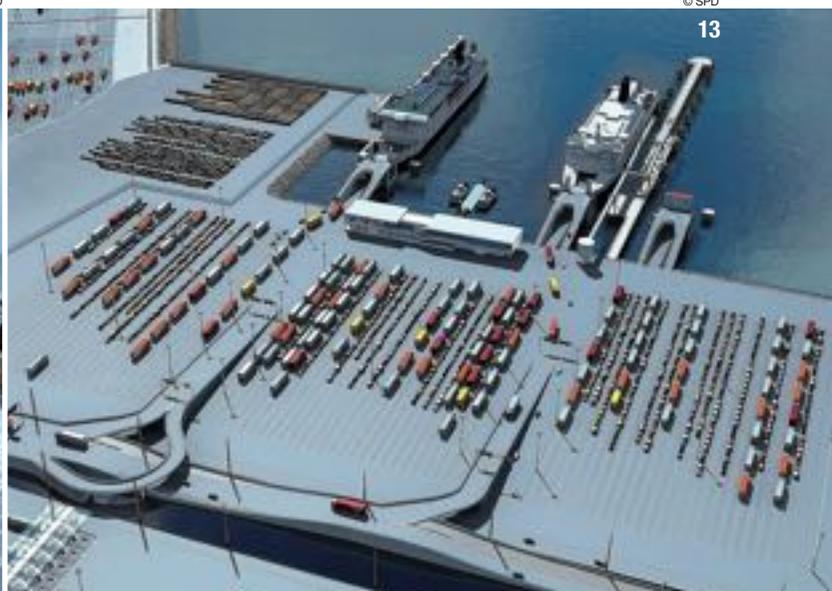
11- Image de synthèse de la perspective définitive de Calais Port 2015.

12- Travaux de dragage du futur bassin.

13- Le nouveau poste ferries tel qu'il sera aménagé à l'issue des travaux.



© SPD
12



© SPD
13

Colloque francophone

LES 11^e RENCONTRES GÉOSYNTHÉTIQUES SERONT LILLOISES : RENDEZ-VOUS DU 7 AU 9 MARS 2017, AU GRAND PALAIS DE LILLE

Le Comité Français des Géosynthétiques organise le 11^e colloque francophone dédié aux géotextiles, géomembranes et produits apparentés, du 7 au 9 mars prochain à Lille (Grand Palais).

Rendez-vous professionnel de référence pour les acteurs des géotextiles, géomembranes, et produits apparentés, ce colloque couvre toutes les utilisations de ces matériaux, dans les domaines du génie civil et de la protection de l'environnement.

Organisé par le CFG tous les deux ans, depuis 1993, l'événement rassemble plus de 400 experts, ingénieurs et techniciens, en provenance de France et de toute l'Europe, mais également des continents africain et américain (maîtres d'œuvre, entrepreneurs, producteurs, distributeurs, spécialistes de bureaux d'études et de laboratoires, etc.) souhaitant échanger leurs expériences à partir de témoignages et cas de chantiers.

Ces rencontres lilloises, qui se tiendront en présence du Comité Belge des Géosynthétiques (CBG) invité d'honneur de cette édition, seront l'occasion, pour les utilisateurs, producteurs, prescripteurs et applicateurs, de faire le point sur l'état de l'art, les bonnes pratiques et les normes en vigueur, à travers la présentation de cas concrets d'applications des géosynthétiques en Génie Civil et en Environnement, illustrant les fonctions essentielles de ces matériaux de construction.

Précisons qu'une journée de préformation sur les matériaux géosynthétiques et leurs utilisations les plus fréquentes (installations de stockages de déchets, les infrastruc-

tures de transport et les ouvrages hydrauliques) est proposée aux participants non-initiés le mardi 7 mars, afin de leur permettre de suivre au mieux les conférences et exposés qui rythmeront les journées des 8 et 9 mars.

Parallèlement aux conférences, le CFG propose une exposition technique, sur laquelle plus de 30 exposants présenteront les derniers produits géosynthétiques disponibles sur le marché : géotextiles, géomembranes, produits de drainage, de renforcement, produits anti-érosion, géosynthétiques bentonitiques, matériels de soudure, etc. ainsi que le savoir-faire des entreprises et des laboratoires.

Inscriptions sur www.rencontresgeosynthetiques.org

Contact pour toute question concernant les modalités d'inscription ou les tarifs : severine.beaunier@enpc.fr ou **01 44 58 28 07**

Contact pour toute question relative à l'exposition : secretariat.cfg@wanadoo.fr ou **01 41 96 90 93**



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 931 « Travaux souterrains »
- TRAVAUX n° 932 « Ouvrages d'art + supplément 100 ans »
- TRAVAUX n° 933 « Sols et fondations »

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 :

Bertrand COSSON
Tél. 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr



Carine REININGER
Tél. 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr



1 © FUGRO

FUGRO

LA GÉO-INTELLIGENCE AU SERVICE DES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

DANS LE DOMAINE DES GÉOSCIENCES, FUGRO MET À LA DISPOSITION DE SES CLIENTS LES PERSONNELS, LES ÉQUIPEMENTS, L'EXPERTISE ET LA TECHNOLOGIE POUR LES ASSISTER DANS TOUT CE QUI EST LIÉ AU DÉVELOPPEMENT, À LA PRODUCTION ET AU TRANSPORT DES RESSOURCES NATURELLES, QUELLE QUE SOIT LEUR LOCALISATION DANS LE MONDE. PIERRE VERGOBBI, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA FILIALE FRANÇAISE FUGRO GEOCONSULTING SAS, ET DENYS BOREL, RESPONSABLE COMMERCIAL OFFSHORE, NOUS PRÉSENTENT SES ACTIVITÉS EN METTANT L'ACCENT SUR SA PRÉSENCE DANS LE SECTEUR DES ÉNERGIES RENOUVELABLES MARINES, NOTAMMENT LE LONG DES CÔTES FRANÇAISES OÙ D'IMPORTANTES INVESTISSEMENTS SONT EN COURS DE CONCRÉTISATION.

Fugro⁽¹⁾ est un groupe multinational de sociétés d'ingénieurs-conseils créé en 1962 et coté à la bourse d'Amsterdam, dont le siège social est situé à Leidschendam aux Pays-Bas. Il opère dans le monde entier, principalement dans les domaines du pétrole et du gaz (74% du chiffre d'affaires en 2015), mais aussi dans celui des énergies renouvelables et du nucléaire (6%), des mines (2%), et de la construction et des infrastructures (16%), à la fois en offshore, en portuaire/côtier (nearshore) et en terrestre. Implanté dans 60 pays, il emploie actuellement de l'ordre de 11 000 collaborateurs pour un chiffre d'affaires 2015 de 2 363 M€.



2
© FUGRO

Le groupe, compte tenu ses activités, est principalement organisé en deux divisions distinctes : Marine et Terrestre, dans lesquelles Fugro propose l'ensemble de ses services à ses clients : Géotechnique, Survey (cartographie, géophysique de site, topographie, positionnement) et Sub-sea Services (inspection, réparation et maintenance de structures offshore).

EN FRANCE : UN PIED À TERRE, UN PIED DANS L'EAU

Les activités en France de la filiale française Fugro Geoconsulting, dirigée par Pierre Vergobbi, ingénieur civil des Ponts et Chaussées, sont nées en 1998 de la fusion de plusieurs sociétés fran-

1- Le navire Fugro Pioneer d'inspection et de sondage (survey).

2- Plateformes autoélévatrices Deep Diver et Excalibur en maintenance d'éolienne.

3- De gauche à droite, Pierre Vergobbi, directeur général de Fugro Geoconsulting et Denys Borel, responsable commercial offshore.



© MARC MONTIGNON

FUGRO EN FRANCE

Outre Fugro Geoconsulting, d'autres sociétés du groupe sont présentes en France : Fugro Geoid, Fugro Topnav et Geoter.

Créée en 1986, Fugro Geoid réalise toutes les prestations dans les domaines de la géodésie, la topographie terrestre, les levés hydrographiques, le contrôle dimensionnel, le géo-monitoring et les levés aéroportés (LiDAR[®], photogrammétrie, radar). Son savoir-faire s'étend aussi aux levés hydrographiques et à la géophysique marine.

Rattachée à la division Survey du groupe, elle propose son expertise et ses services en France et à l'étranger, en Afrique notamment.

Fugro Topnav est spécialisée dans le positionnement de structures offshore et de navires, essentiellement dans le domaine pétrolier, ainsi que dans de petites études de reconnaissance de fonds marins dans un but de préparation de sites pétroliers.

Née en 2001 à la suite du rachat de la division « positionnement » de la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) par le groupe Fugro, elle travaille dans toute l'Afrique de l'Ouest, de la Mauritanie à l'Angola. Elle dispose d'une succursale au Congo Brazzaville. Elle est rattachée à la division Survey du groupe.

Geoter est une société d'ingénieurs-conseils - géologues, sismologues, géotechniciens, ingénieurs structures, informaticiens, géographes - qui développe ses actions dans les domaines de la géologie, de la sismologie, des systèmes d'information géographique et des bases de données. Avec une expérience de plus de 25 ans en France et à l'étranger, elle met à profit ses collaborations internationales pour apporter à ses clients une expérience opérationnelle éprouvée.

Geoter élabore également des solutions d'aménagement intégrées en collaboration avec des promoteurs immobiliers et des cabinets d'architectes.

Au-delà du diagnostic scientifique et technique spécifique au problème posé, la réponse apportée replace la problématique des risques naturels au cœur de l'analyse globale de l'aménagement du territoire afin d'offrir au décideur des éléments consolidés pour choisir ou bâtir une solution optimale.

Geoter est rattachée à la division Géotechnique (Terrestre) du groupe.

çaises spécialisées en géotechnique et concentrent l'ensemble des prestations liées à la géotechnique terrestre, portuaire, côtière et marine.

Elle emploie 95 personnes et développe son activité à partir de trois agences en métropole - Chambéry, Nantes et Nanterre, où se situe également le siège de la société - et La Réunion. Son chiffre d'affaires 2015 est de 26,2 M€.

Ses activités s'exercent dans les domaines terrestre et maritime à partir de 5 départements opérationnels :

- Géo-investigations,
- Géo-Consultancy (consultance et ingénierie),
- Offshore-Géotechnique, avec les services Marine Géo-Consultancy et Géophysique Marine,
- Géo-Monitoring (laboratoire sols/roches et instrumentation),
- Géophysique terrestre.

Ses interventions visent à délivrer les données techniques et les analyses nécessaires pour dimensionner, construire et assurer la maintenance des structures et des infrastructures en mer ou à terre, en toute sécurité, de façon efficace et durable.

LA GÉO-INTELLIGENCE DANS TOUT SON DÉVELOPPEMENT

Elles s'articulent autour de deux grands volets : les sciences de la terre, d'une part, la vie des ouvrages, d'autre part. Les sciences de la terre, ou « géo-intelligence » regroupent des services depuis l'acquisition des données sur le terrain, leur traitement et interprétation, l'analyse des risques géologiques (géotechniques et géophysiques), jusqu'à la conception et l'ingénierie des ouvrages géotechniques et des fondations ainsi que leur instrumentation. Le second volet s'étend du suivi des

ouvrages et des infrastructures au cours de leur installation ou de leur construction à celui de leur devenir dans le temps, aussi bien à partir de mesures faites à terre qu'à l'aide de matériels d'inspection tels que, dans le domaine maritime, les « ROV » (Remotely Operated Vehicle), petits sous-marins téléguidés par câble depuis un navire ou les « AUV » (Autonomous Underwater Vehicle), engins sous-marins autonomes radio-guidés,

pour la maintenance et l'inspection. L'objectif est de réduire les risques tout en facilitant la prise de décision de grands investissements tant dans le domaine pétrolier que dans celui des énergies renouvelables et des grands ouvrages de génie civil qui sont autant de domaines vers lesquels le groupe s'oriente de plus en plus.

« L'un des leitmotivs du groupe réside dans son indépendance, clarifie Pierre Vergobbi. Fugro opère comme un four-

nisseur de services qui n'a pas d'intérêts directs ou commerciaux dans les projets de ses clients. Impliqué dans les phases préliminaires de nombreux projets, il applique évidemment des règles strictes en termes de confidentialité ».

Si le groupe a bâti sa réputation sur cette indépendance, elle tient également au fait qu'il est capable d'intervenir avec ses propres moyens d'investigations dans des conditions et des environnements variés et souvent difficiles, voire extrêmes, ce qui nécessite une grande variété de compétences et de services : cela va de la Terre de Feu à la pointe extrême de l'Amérique Latine, de la Mer du Nord au désert du Sahel ou du cœur de l'Afrique de l'Ouest ou aux plaines de l'Azerbaïdjan. Il dispose d'un réseau important d'implantations dans le monde, très lié historiquement à des sites d'activités pétrolières ou gazières ou minières - Afrique de l'Ouest, Moyen-Orient, Asie, Mer du Nord - mais qui s'est élargi à des pays dont le développement n'est pas dépendant de ces matières premières, comme la Turquie par exemple.

LA MAÎTRISE DES RISQUES COMME FIL ROUGE

« Notre objectif est d'être leader sur ces marchés de géoscience en développant nos innovations techniques en interne et en nous concentrant sur des marchés à forte valeur ajoutée, poursuit-il, en jouant sur une présence locale mais aussi sur une implantation mondiale. En France, nous nous occupons de nos clients français ou francophones mais nous les suivons également à l'international en nous appuyant sur le réseau Fugro ».

« Ce qui nous différencie de nos concurrents, ajoute Pierre Vergobbi, c'est une position clé dans le domaine de la géo-intelligence, des solutions uniques de contrôle d'intégrité de structures, une situation d'indépendance dans ses services, une forte culture d'innovation et une culture de gestion de projets rigoureuse qui permet à Fugro de délivrer ses projets dans le respect des coûts et des délais et sans accident ». La gestion du risque HSE (sécurité au travail) est un élément fondamental de la culture du groupe hérité de son engagement historique dans les travaux maritimes. L'ensemble de ses démarches repose ainsi sur le refus de la fatalité de l'accident et sur la conviction que les risques peuvent et doivent donc être évités en les intégrant dans toutes les étapes de ses décisions et de ces démarches. ▶



4

© FUGRO

UNE IMPLICATION CROISSANTE DANS L'ÉOLIEN OFFSHORE

Dans le domaine des énergies renouvelables marines, la filiale française est très largement impliquée dans l'ensemble des projets en cours tant en Mer du Nord que dans la Manche ou dans l'Océan Atlantique, sans omettre la Mer Méditerranée.

Elle propose à ses clients des services uniques en termes de conseils dans la maîtrise de tous les risques liés à l'environnement naturel (sol et sous-sol) ou au milieu maritime (courants, tempêtes, houle, etc.). Elle fournit à cet effet les équipements nécessaires pour mesurer tous les paramètres qui leur sont liés et pour effectuer des échantillonnages. Elle réalise enfin l'interprétation de ces paramètres et leur intégration dans un produit fini permettant de maîtriser l'ensemble de ces risques.

Le sol, pour un projet donné, peut être considéré comme un risque : il va impacter le projet au niveau des fondations, à terre comme en mer.

« Au démarrage du développement d'un champ éolien, nous n'avons, a priori, aucune connaissance au niveau

du sol, indique Denys Borel. Nous proposons donc des techniques qui vont nous permettre, tout au long du développement du projet, d'appréhender de mieux en mieux, par phases, la compréhension du sol et des risques qui y sont liés. Nous construisons ainsi, progressivement, un modèle géologique et géotechnique du sol ».

En France, la superficie des champs éoliens offshore se situe autour de 100 kilomètres carrés. Chaque champ comporte de l'ordre de 80 éoliennes pour une puissance cumulée de 450 à 500 MW. Les éoliennes sont distantes d'environ 900 m et alignées sur six à dix rangées. L'implantation finale peut d'ailleurs varier, pour différentes raisons, au cours du développement du projet. C'est l'une des problématiques des projets éoliens et qui les différencie fondamentalement des projets pétroliers.

Pour connaître la nature géologique et géotechnique de ces 100 kilomètres carrés, différentes phases permettent d'aboutir au final à l'ingénierie des fondations et, par voie de conséquence, à la maîtrise des risques.

4- Plateforme autoélevatrice Skate IV pour le projet du tunnel Eurasia à Istanbul.

5- Le navire Fugro Synergy spécialisé en géotechnique.

6- Navire de sondage et d'inspection (survey) Fugro Galaxy.

paramètres du sol (nature, résistance, déformabilité, ...).

« À l'issue de ces travaux de reconnaissance, il est possible d'appréhender l'ensemble du modèle de sol, non plus en termes de modèle géologique mais plus en termes de modèle géotechnique, ceci en affectant des paramètres géotechniques à chacune des couches, et notamment leurs caractéristiques sous sollicitations cycliques, un point essentiel pour une éolienne et encore plus pour une éolienne en mer (vent, houle, tempête) ».

Ces paramètres permettent la réalisation de l'ingénierie des fondations, le but étant de fournir au client un dimensionnement optimisé à la meilleure localisation possible et pouvant être opérationnel de façon fiable pendant la durée de vie de l'ouvrage.

Dans le domaine de l'éolien offshore posé, Fugro est intervenu sur les trois champs de Fécamp (83 éoliennes), Courseulles-sur-Mer (75 éoliennes) et Saint-Nazaire (80 éoliennes) où elle a déjà effectué la majeure partie des reconnaissances marines pour le consortium mené par EDF Énergies

Cela commence par la collecte des données bibliographiques, publiques ou privées, à partir de la synthèse desquelles il est possible de faire un premier modèle de sol plus ou moins précis en fonction des données disponibles.

« L'approche est poursuivie par des études géophysiques, poursuit Denys Borel, puis des premiers essais *in situ*, des prélèvements d'échantillons intacts les plus représentatifs possible de leur état dans le milieu naturel afin de mesurer en laboratoire l'ensemble des



5



6

© FUGRO



Nouvelles ainsi que des reconnaissances marine côtière et terrestre pour RTE pour l'implantation des câbles d'export entre le point de livraison en mer et le point de connexion au réseau à terre.

Qu'il s'agisse d'éolien posé ou d'éolien flottant, l'intervention de Fugro suit une démarche similaire et se déroule en plusieurs phases pendant le développement du projet.

La faisabilité est étudiée sur la base de données bibliographiques (desktop studies) afin de déterminer un premier modèle de sol donnant une première compréhension des paramètres du sol et des risques.

Fugro peut ensuite assister le développeur pour les études d'impact environnemental, tant en ce qui concerne les mesures que les prélèvements

relatifs à la faune et à la flore qui peuplent la zone et comprendre quel sera l'impact du projet sur le biotope environnant.

7- Plateforme autoélévatrice Wavewalker 1.

8- Fugro Seacore Aran 250.

9- Récupération d'un ROV (Remotely Operated Vehicle).

10- Mise à l'eau d'un AUV (Autonomous Underwater Vehicle).

11- Bouée océano-météorologique.

« Une autre phase précoce dans le développement, indique Denys Borel, peut concerner, par exemple, le dimensionnement des fondations d'un mât météo, installation qui permet au client de disposer très rapidement d'une grande maîtrise des conditions météorologiques et en particulier des conditions de vent à une hauteur élevée, de plusieurs dizaines de mètres, pour le développement ultérieur du projet ». En France, EDF Énergies Nouvelles a installé un mât de ce type sur le site de Fécamp. L'intérêt est double : au-delà des informations météorologiques, un mât météo donne des informations sur le comportement des fondations en permettant d'installer une première structure sur le site.

Viennent ensuite les études géophysiques relatives au fond marin à par-

tir d'un bateau supportant différents types de capteurs et de sonars pour déterminer : un modèle bathymétrique très précis à l'échelle du centimètre, une imagerie du fond marin ainsi que l'identification du type de sédiments, et l'identification d'obstructions éventuelles sur le fond (munitions non explosées, épaves, carcasses métalliques, etc.). L'entreprise réalise également des mesures de sismiques réflexion et réfraction afin d'identifier les différentes interfaces du sous-sol et de déterminer la géométrie des couches.

Les essais in situ et les prélèvements d'échantillons par carottage sont alors effectués à partir de bateaux spécialisés en géotechnique marine - Fugro en possède 8 de ce type - qui peuvent intervenir entre 15/20 m d'eau minimum et 2 000/3 000 m si nécessaire. Au large des côtes françaises, les parcs éoliens se situent à des profondeurs comprises entre 20 et 40 m d'eau. En 2015, Fugro a réalisé, avec deux de ces bateaux, pour le consortium mené par EDF Énergies Nouvelles, les phases finales de reconnaissance des sites de Courseulles-sur-Mer et de Saint-Nazaire, en réalisant à chaque phase plusieurs dizaines de forages jusqu'à 50 m de profondeur pour avoir une connaissance la plus parfaite possible des sols et des risques associés. À Courseulles-sur-Mer et à Saint-Nazaire, les reconnaissances se sont déroulées de début juin à mi-septembre.

« Cette phase est assez lourde, précise Pierre Vergobbi. Le bateau dispose d'un équipage de 30 à 40 personnes. Il travaille 24 heures sur 24 de préférence dans les périodes climatiques les plus favorables de l'année. Mais il peut aussi intervenir l'hiver et jusqu'à 2,50 m à 3,00 m de houle ».



© FUGRO

© FUGRO



12

© FUGRO

Essais in situ, diagraphie en forage, mesures de vitesse de propagation des ondes sismiques en compression ou en cisaillement dans le sol, de la radioactivité naturelle, déformabilité du rocher en place par dilatomètre et imagerie complètent l'intervention, en mer ou à terre, et participent à la définition du type de fondations à recommander. Les caractéristiques d'identification et de résistance des sols sont ensuite mesurées dans le laboratoire de l'entreprise. À partir de là, il devient possible d'effectuer l'ingénierie des fondations afin d'optimiser leurs dimensions ainsi que leur coût.

Différentes options de fondation sont possibles. Historiquement, les plus employées en mer étaient des embases

gravitaires de 20 à 30 m de diamètre, particulièrement en Belgique et en Allemagne. Ce type de fondation devrait être mis en œuvre à Fécamp.

En revanche, pour Courseulles-sur-Mer et Saint-Nazaire, le consortium mené par EDF Énergies Nouvelles a choisi la technique des monopieux, cylindres métalliques de l'ordre de six à sept mètres de diamètre et enfoncés de 20 à 30 m de profondeur dans le sol.

Certains autres développeurs privilégient des fondations qui s'apparentent à celles des plateformes pétrolières : les « jackets » en treillis métallique, ancrés sur pieux battus ou forés cimentés. C'est la technique qui devrait être mise en œuvre par le consortium Ailes Marines, mené par Iberdrola, pour le

champ éolien de la Baie de Saint-Brieuc (62 éoliennes). Simple et efficace, c'est une technologie très éprouvée.

« *Ce qu'il faut comprendre*, précise Pierre Vergobbi, *c'est que, en tant que géotechniciens, nous nous occupons de l'interaction entre une fondation et le sol. Nous sommes capables de conseiller sur le choix et le dimensionnement d'une technique de fondation d'un point de vue purement géotechnique. Mais le choix final, tant technique qu'économique, reste au développeur* ».

Un autre point important à souligner concerne le coût d'une fondation dans l'économie d'un projet. Alors que, dans le cas d'une plateforme pétrolière, il se situe autour de 7 à 8 %, dans le domaine de l'éolien il atteint entre

20 et 30 % du coût total de l'ouvrage. De ce fait, le coût de la fondation proprement dite est relativement significatif. Sans oublier que les travaux se déroulent en milieu maritime, c'est-à-dire dans un milieu assez hostile en raison du vent, des courants et de la houle, impliquant une période de travail limitée dans l'année, ce qui impacte le choix et l'organisation des travaux. Lorsque la construction est lancée, l'intervention de Fugro se poursuit auprès des installateurs en fournissant les mesures et les prévisions météorologiques marines pour les aider dans la programmation et la mise en place de la logistique, y compris pour le transport des éoliennes de l'usine de fabrication jusqu'au site en mer.



13



14

© MARC MONTIGNON

12- Plateforme autoélevatrice en intervention sur la Tamise, à Londres, devant le palais de Westminster.

13- Laboratoire d'essais triaxiaux de Fugro Geoconsulting.

14- L'un des laboratoires d'essais de Fugro Geoconsulting à Nanterre.



© FUGRO

15

Le service météorologique de Fugro est en mesure de définir les fenêtres d'intervention en fonction de critères de houle et vent spécifiques tant pour les phases de transports que pour les travaux de construction.

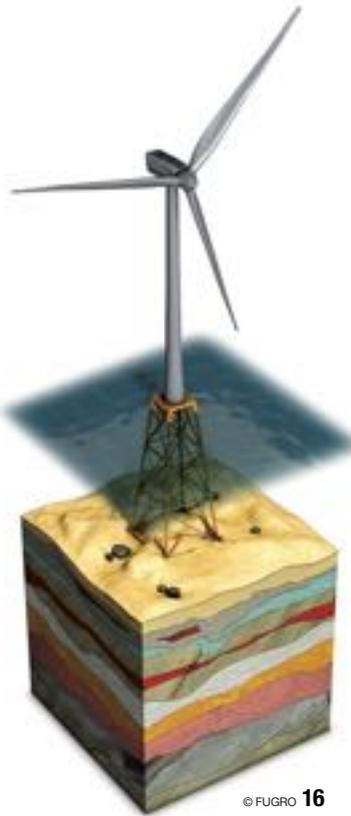
« Nos collègues de Fugro en Angleterre peuvent par ailleurs participer à la phase de construction proprement dite, indique Denys Borel, puisqu'ils se sont acquis une réputation mondiale de spécialistes du forage de pieux de grand diamètre en mer. Fugro est intervenue, par exemple, pour l'exécution du puits de rejet en mer de l'EPR de Flamanville, de 5,85 m de diamètre et 63 m de profondeur, dans l'une des roches les plus dures rencontrées sur chantier : des coméennes métamorphisées ».

15- Navire Fugro Helmert en inspection d'une éolienne.

16- Schéma d'implantation d'une éolienne en mer sur structure en treillis métallique.

17- Analyse des échantillons en laboratoire.

Pour terminer avec la chaîne de compétences de Fugro et de ses filiales, il faut signaler également un savoir-faire reconnu dans les domaines de l'inspection des ouvrages en mer, de leur



© FUGRO 16

positionnement et de leur contrôle dimensionnel, de la reconnaissance des câbles de transport du courant et de l'instrumentation des structures, soit pendant la phase de construction et de mise en marche, soit pendant la durée de vie du champ éolien.

DE L'ÉOLIEN POSÉ À L'ÉOLIEN FLOTTANT

Dans l'immédiat, tous les parcs éoliens en projet en France relèvent de la technique des éoliennes dites « posées ». Mais l'avenir devrait évoluer vers des éoliennes « flottantes ».

C'est évidemment une technique à laquelle s'intéressent les responsables de Fugro Geoconsulting, d'autant que plusieurs opérations pourraient

être programmées dans ce domaine. En effet, quatre appels à projets ont été lancés fin 2015 par le gouvernement français pour des champs pilotes d'éolien marin flottant, l'un dans l'Atlantique, au sud de l'île de Groix, les trois autres en Méditerranée, à hauteur de Gruissan et de Leucate, dans l'Aude, et de Faraman, dans le delta du Rhône, au sud-est de la Camargue.

Les projets de l'île de Groix et de Gruissan ont été attribués en avril 2016 et les deux autres début novembre 2016. Il s'agit de projets pilotes mettant en œuvre sur chaque site entre 3 et 6 éoliennes de 5 MW minimum chacune, installées sur des mâts de 100 à 120 m de hauteur.

L'objectif annoncé par le gouvernement est de développer l'éolien flottant en France et de réaliser dans le futur des champs de plusieurs dizaines, voire de plusieurs centaines d'éoliennes en mer. Outre les travaux à venir en mer, de tels projets d'énergie renouvelable marine sont presque toujours associés à des aménagements portuaires lourds, tant en ce qui concerne les infrastructures portuaires proprement dites que les aires de construction pour fabriquer et assembler les éoliennes, ce qui ouvre de nouveaux marchés à des entreprises telles que Fugro qui a réalisé à ce sujet des reconnaissances terrestres et marines, par exemple sur le port du Havre, en vue de la préparation de ces nouvelles activités. □

1- **Fugro** : pour la petite histoire, l'acronyme Fugro est la contraction de « FUnderingstechniek en GRONDmechanica » en néerlandais, soit « Techniques de Fondations et Mécanique des Sols » en français.

2- **LIDAR** : La télédétection par laser ou lidar, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser detection and ranging », est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.



© FUGRO

17

FUGRO : LES RESSOURCES « MARINES » DANS LE MONDE

11 000 personnes

42 bateaux de géophysique et géotechnique

25 laboratoires

30 plateformes autoélevatrices (jack-up) pour travailler jusqu'à 25/30 m de profondeur

100 ROV (Remotely Operated Vehicle), sous-marins d'inspection téléguidés pilotés par joystick

8 AUV (Autonomous Underwater Vehicle) sous-marins autonomes radio-guidés de mesures de géophysique pouvant travailler jusqu'à 3 000 m de profondeur



1
© SOLETANCHE BACHY FRANCE

RÉUNION - CONFORTEMENT DU PONT SUR LA RIVIÈRE DU MAT

AUTEUR : SYLVAIN FORRAY, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY

ENTRE JUIN 2015 ET JUIN 2016, SOLETANCHE BACHY FRANCE A MENÉ LES TRAVAUX POUR CONFORTER LE PONT DE LA VOIE RAPIDE FRANCHISSANT LA RIVIÈRE DU MAT, MENACÉ PAR L'ABAISSEMENT PROGRESSIF DU LIT DE LA RIVIÈRE. LES TRAVAUX, DANS UN SITE NATUREL SENSIBLE, ONT ÉTÉ MENÉS SUR LA BERGE AVEC DES ENGINs LOURDS (HYDRO-FRAISE, GRUE SUR CHENILLES, FOREUSE), MIS EN PLACE PAR GRUTAGE. LA MAÎTRISE DES MÉTHODES ET DE L'IMPACT SUR LE MILIEU NATUREL ONT ÉTÉ LES GUIDES DE CE CHANTIER PEU COMMUN.

Prenant sa source au pied du Piton des Neiges, la rivière du Mat collecte les eaux de pluie du cirque de Salazie et d'une partie de la forêt de Bébour, lieu de tous les records mondiaux de pluviométrie.

Son débit est très variable, de 3 m³/s par temps sec à plus de 2 600 m³/s lors d'un cyclone.

Conséquence de ces épisodes de crue extrêmes, le lit de la rivière s'érode très rapidement : 12 m en 35 ans, et 5 m entre 2006 et 2011 !

La région Réunion a dû lancer en urgence un projet de confortement du pont de la RN2 franchissant la rivière du Mat, à cause d'affouillements importants au niveau de sa culée Nord.

Le pont, construit en 1978 et doublé en 2000, est fondé sur barrettes, avec une paroi moulée de protection contre

l'érosion de la berge. La butée de cette paroi a été protégée par des enrochements liés, mais les affouillements et le niveau actuel du lit de la rivière ne permettent plus de garantir la pérennité de l'ouvrage. Après deux chantiers de comblement des affouillements en 2009 et 2014, la région a décidé de reprendre complètement le soutènement pour anticiper une nouvelle érosion de 6 m supplémentaires.

UN PROJET DE BASE RISQUÉ ET AVEC DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX FORTS

Le projet de base consistait à construire un canal de dérivation dans une coulée boueuse très compacte, puis de remblayer le lit principal de la rivière pour y réaliser une paroi moulée au pied des enrochements liés.

1- Vue d'ensemble du chantier pendant les travaux de paroi moulée.

1- General view of the project during the diaphragm wall work.

Ces travaux devaient avoir lieu entre deux périodes cycloniques, avec le risque permanent de crues mineures qui auraient emporté la plate-forme de travail. En effet, au vu des relevés débitométriques des cinq dernières années, l'occurrence des crues nécessitant l'évacuation totale de la rivière était relativement élevée, avec un délai

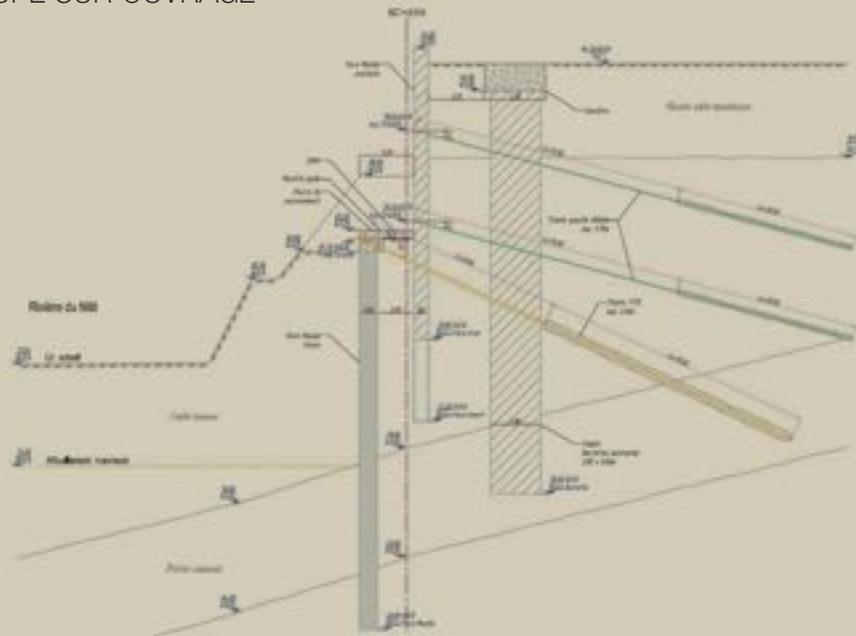
de réaction de la rivière quasi incontrôlable (débit passant de 15 à 150 m³/s en moins d'une demi-heure !), et des dégâts et des retards difficiles à quantifier.

UNE SOLUTION VARIANTE SUR MESURE

Soletanche Bachy a proposé à la Région une solution variante (figure 2) qui a emporté l'adhésion de tous les acteurs : Région, maîtrise d'œuvre, DEAL. Cette solution consiste à réaliser l'ensemble des travaux depuis la berge, sur la risberme en enrochements liés devant la paroi moulée existante.

Elle a l'avantage de ne pas impacter le milieu naturel et d'être réalisée à une cote élevée par rapport au lit de la rivière, au dessus du niveau des crues non cycloniques.

COUPE SUR OUVRAGE



MÉTHODES ET ÉTUDES

La particularité du chantier réside dans la préparation très poussée en termes de méthode.

GÉOMÉTRIE DE L'OUVRAGE

La variante proposée a été imaginée et programmée sur la base d'un relevé 3D du site (figure 4) : des coupes et vues en plan ont été extraites, afin de valider la faisabilité de la solution et de déterminer des niveaux de plates-formes répondant à deux exigences contradictoires :

- Abaisser au maximum la cote de la plate-forme par démolition de l'enrochement afin de libérer un espace suffisant pour la mise en place de l'Hydrofraise ;
- Conserver une plate-forme assez haute pour conserver la butée des deux parois moulées existantes, et accessoirement diminuer le coût et la durée des travaux préparatoires.

Un compromis a été trouvé, avec une largeur de plate-forme d'environ 5,30 m pour le déplacement et la mise en place de l'Hydrofraise.

Compte tenu du faible espace restant une fois l'Hydrofraise positionnée et compte tenu de sa mise en place dans les angles, une passerelle pour piétons a été ajoutée côté rivière, appuyée sur les enrochements et située un mètre plus bas que la dalle de roulement pour circuler sous le contrepoids de la grue.

PHASAGE DU CHANTIER

Les grandes phases de travaux :

- Démolition de la partie supérieure des enrochements, pour élargir la plate-forme (figure 3) ;
- Réalisation d'une plate-forme en béton intégrant les murette-guides et une lierne de reprise de la butée des parafouilles existants ;

2- Coupe sur ouvrage.

3- État initial : début de la démolition.

2- Cross section on structure.

3- Initial condition: start of demolition.

- Réalisation de la paroi moulée ;
- Démolition côté rivière sur 1,60 m de hauteur ;
- Recépage et réalisation d'une poutre de couronnement intégrant des réservations ;
- Réalisation des tirants d'ancrage à travers la poutre et les parafouilles existants.



Le positionnement de la paroi moulée a également dû faire l'objet d'un compromis et d'une étude précise.

Pour la phase paroi moulée, son positionnement au centre de cette banquette aurait facilité les déplacements et les mises en place.

Mais, lors de la phase tirants, la banquette conservée aurait été trop étroite pour positionner une foreuse capable de réaliser les tirants.

Les contraintes des études, en particulier la conservation de la butée des parois existantes, ont conduit à réaliser la paroi en panneaux unitaires, avec des joints remordus.

CHOIX DES ENGINES (PAROI MOULÉE)

L'utilisation d'une Hydrofraise était imposée par le CCTP, afin de réduire les vibrations induites sur l'ouvrage. En effet, la perforation à la benne à câble aurait nécessité l'utilisation du trépan, afin de franchir les bancs indurés de la coulée boueuse et des brèches. De plus, cette méthode comportait un nombre d'avantages importants qui ont permis de proposer cette variante :

- Marinage des déblais par aspiration de la boue de forage, traitée par une centrale à boue d'une capacité de 300 m³/h installée au niveau de la rue ;
- Possibilité de forer dans toutes les directions, grâce au joint tournant au niveau de la poutre de forage ;



4- Relevé 3D de l'ouvrage.
5- Vue de l'Hydrofraise sur la plate-forme.

4- 3D survey of the structure.
5- View of the Hydrofraise on the platform.

→ Réalisation des joints remordus, ce qui permet de s'affranchir de l'utilisation des portes-joints métalliques ;

→ Mobilisation d'une Hydrofraise « compacte » (figure 5), de 4 m de large, 5 m de haut, et 10 m de long. L'autre sujet est l'approvisionnement en fournitures, et en particulier en cages d'armatures.

Une très grosse contrainte du chantier était la présence des ponts existants qui découpaient le chantier en 2, et qui limitaient la hauteur des engins au centre du chantier, sur la plate-forme basse (13 m de hauteur) et sur la plate-forme haute (3,5 à 5 m).

Sur la plate-forme supérieure, le choix d'une grue mobile a été fait, ce qui limitait les possibilités de déplacement en charge, mais permettait de déplacer à la demande la grue d'un côté à l'autre

du pont, alors qu'une grue à chenille aurait été trop haute pour passer sous les vousoirs.

Sur la plate-forme inférieure, la problématique du déplacement des cages d'armatures sous tablier a conduit à envisager plusieurs solutions : un pont roulant accroché sur la tête du soutènement existant, une pelle à chenilles spécifique (non disponible localement), ou une grue mobile.

Le choix s'est finalement porté sur une grue chenille LB 855 (figure 6), qui malgré son poids et son gabarit, donnait un large éventail de possibilités (manutention, montage d'une benne à câble ...).

Les cages d'armatures sous le tablier du pont ont finalement été dimensionnées en fonction de la hauteur sous crochet et des longueurs de recouvrement, permettant ainsi d'optimiser les

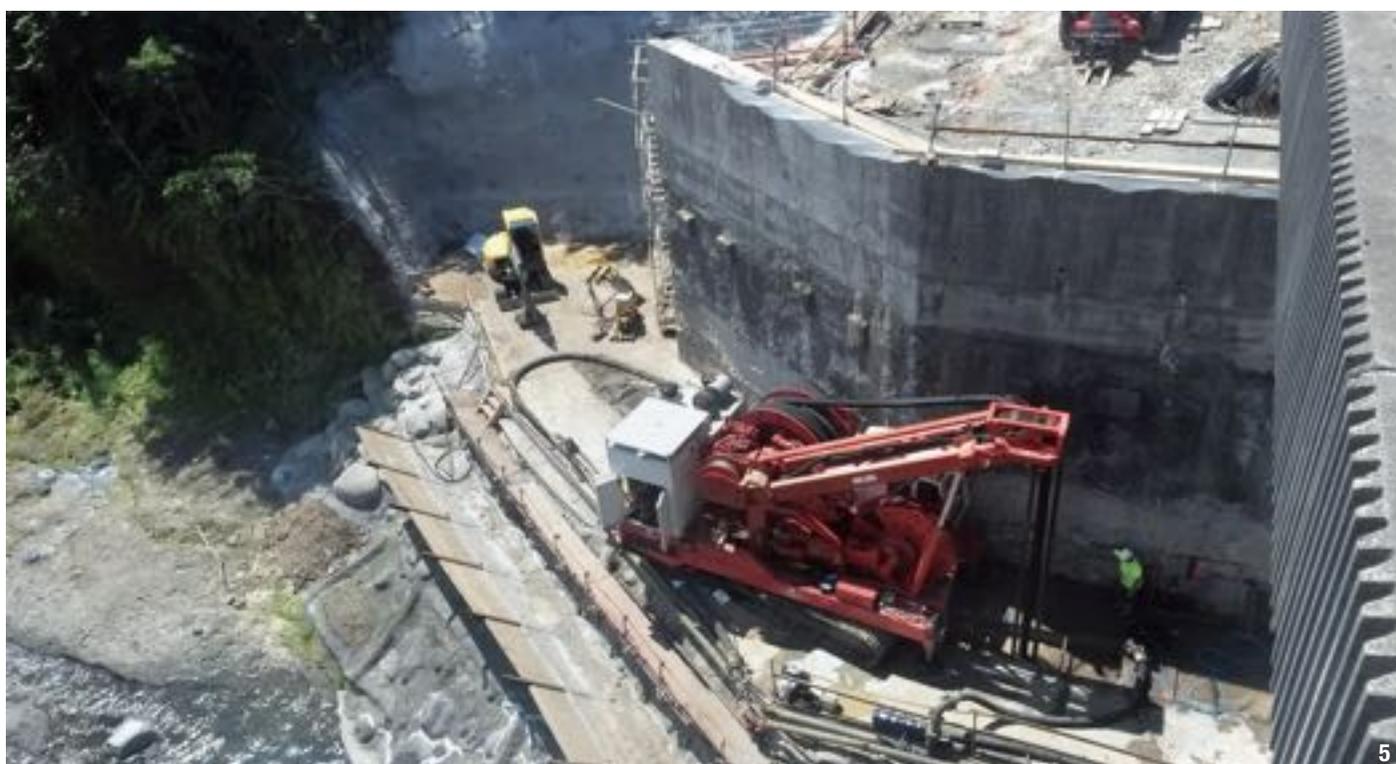
coûts de transport et les temps d'équipement des cages.

Le bétonnage de la paroi moulée et des ouvrages de génie civil a été réalisé à la pompe à béton.

ACCÈS ET MISE EN PLACE DES ENGINES

La réalisation d'une rampe pour accéder à la plate-forme inférieure a été étudiée, mais s'est révélée infaisable compte tenu de l'espace limité entre les ouvrages (barrettes et tirants existants de l'ouvrage), des réseaux (EP diamètre 1800), et de la difficulté de justification de la stabilité des talus sur une hauteur de 10 m. Il a donc été décidé de réaliser un accès par grutage des engins (figure 7).

Après vérification de l'existence d'une grue mobile suffisante sur l'île (300 t), et de la faisabilité de son positionne-





ment sur le chantier, la solution a été validée au stade de l'offre, puis mise en œuvre dès notification du marché. En effet, les surcharges apportées par les patins de grue (jusque 110 t) n'étant pas acceptables pour le soutènement existant, des micropieux ont été réalisés pour les reprendre. Ces micropieux ont été implantés après essai à blanc avec la grue, et en fonction des ouvrages souterrains existants et à venir (tirants d'ancrages). De la même manière, tous les engins ont été mis en place par levage, avec

6- Équipement des cages d'armatures.

7- Mise en place de l'Hydrofraise.

8- Plan des tirants.

6- Concrete reinforcing cage equipment.

7- Placing the Hydrofraise in position.

8- Drawing of tie anchors.

des grues variant entre 55 et 300 t. Enfin, l'Hydrofraise ne pouvait pas se retourner sur la riserme, trop étroite. Un espace de dégagement était pourtant nécessaire pour réaliser les panneaux d'extrémité et pour permettre les maintenances ou les réparations lourdes. Un espace sur mesure a donc été aménagé en amont de l'ouvrage, taillé dans la berge : un talus de pente 1H/2V justifié sur la base de l'état initial a été réalisé pour venir tangenter la limite de propriété.

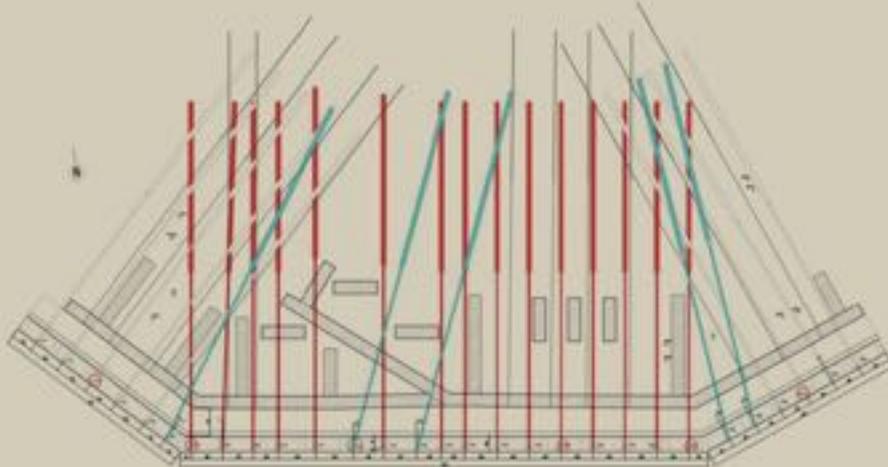
TIRANTS D'ANCRAGES

La réalisation des tirants d'ancrage se fait en traversant une à trois parois moulées (figures 8 et 9) d'une épaisseur de 800 mm, avec des angles d'attaque variés. L'utilisation de la méthode Hi'Drill a permis de franchir ces obstacles avec des cadences satisfaisantes. Les têtes de tirants doivent être complètement encastrées dans le génie civil pour les protéger des chocs dus au charriage lors des crues cycloniques. En cas de besoin, des réservations de secours avaient été mises en place dans la poutre, pour réaliser un éventuel tirant de secours tout en garantissant la protection de la tête. Les tirants sont des tirants à câbles précontraints 7T15, avec une protection anti corrosion permanente. Sur les 29 tirants, 6 sont équipés d'une cellule dynamométrique, afin de suivre l'évolution de la contrainte au fil du temps et de l'affouillement de la rivière.

MAÎTRISE DE L'IMPACT SUR LE MILIEU NATUREL

La position des ouvrages à réaliser ainsi que la nature des travaux suscitaient des craintes pour la protection du milieu naturel, comme en attestent les visites de la SEAL et de la police de l'eau sur le chantier. Les mesures de protection de l'environnement ont été intégrées dès l'étude du projet :

PLAN DES TIRANTS



© SOLTANCHE BACHY FRANCE

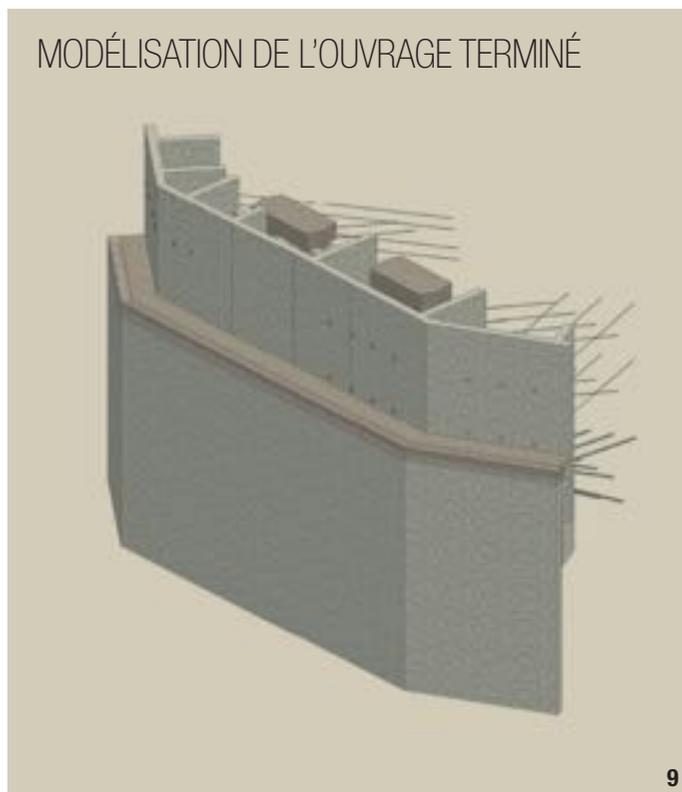
© SOLTANCHE BACHY FRANCE

- Réalisation d'un pare-pierres (phases de démolition), habillé d'une rétention étanche pour les phases de forage (paroi moulée et tirants) ;
- Réalisation de rétentions pour contenir les boues de forage et d'éventuels déversements d'huile en cas de panne (deux niveaux de rétention ont toujours été en service, pour prévenir tout déversement accidentel dans la rivière) ;
- Traitement et évacuation des boues de forage dans un centre de revalorisation (intégration à du compost végétal).

ALÉAS RENCONTRÉS PENDANT LE PROJET

Malgré cette préparation et la réussite de ces anticipations, des aléas sont venus compliquer l'organisation et le déroulement du chantier :

- Découverte d'une cavité de 14 m³ dans le cœur de la risberme, entraînant des travaux de comblement d'urgence, puis des forages de reconnaissance et de comblement.
- Réalisation de purges : des blocs de très grande dimension et un remblai non cohésif ont été découverts au cœur de la risberme, au lieu du terrain naturel quasi rocheux attendu. Ces purges ont nécessité la mobilisation d'une benne à câble à monter sur la grue LB855, et la substitution des matériaux de tête par un remblai en béton maigre. Les plus gros blocs mesuraient plus de 2 m et ont nécessité un prédécoupage, le trépanage n'étant pas admis.
- Pertes de boues importantes à travers l'enrochement lié, puis à l'interface entre deux couches géologiques. La réalisation d'une vingtaine de forages et de comblement au coulis a permis de réduire ce problème.



MODÉLISATION DE L'OUVRAGE TERMINÉ

9

© SOLETANCHE BACHY FRANCE

9- Modélisation de l'ouvrage terminé.

9- Model of the completed structure.

- Durant l'été austral, de fortes pluies ont inondé la plate-forme de travail pourtant située 8 m au-dessus du niveau normal de la rivière, provoquant un affouillement et un basculement partiel de la berge. Après des travaux de confortement (bétonnage, injection de coulis, réalisation de micropieux), les travaux du marché ont pu reprendre.

- Des drains ont dû être réalisés, suite à l'augmentation sensible du niveau piézométrique en arrière du soutènement.

AUSCULTATION DES OUVRAGES

Le marché prévoyait un suivi continu de l'ouvrage, afin de valider les méthodes constructives, et de prévenir un déplacement préjudiciable de cet ouvrage critique :

- Suivi des vibrations sur l'ouvrage (deux capteurs installés sur le parafoille et une pile de pont) ;
 - Suivi topographique hebdomadaire ;
 - Réalisation et suivi hebdomadaire de deux piézomètres ;
 - Mise en place de 3 inclinomètres dans la paroi moulée ;
 - Mise en place de 6 cellules dynamométriques sur les tirants d'ancrage.
- Ces suivis de l'ouvrage seront prolongés par la maîtrise d'ouvrage pour vérifier le bon comportement du soutènement au fil de l'affouillement futur devant l'ouvrage. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉMOLITION D'ENROCHEMENTS BÉTONNÉS : 1 100 m³
PAROI MOULÉE : 1 400 m² (profondeur 22 m, épaisseur 1 m)
TIRANTS D'ANCRAGE : 29 u, soit 720 m
POUTRE EN GÉNIE CIVIL : 100 m³ pour 60 m de longueur

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Réunion
MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Artelia / Géolithe
ENTREPRISE PRINCIPALE : Groupement Soletanche Bachy France - Forintech
SOUS-TRAITANT GC/TERRASSEMENT : Gtoi

ABSTRACT

REUNION ISLAND - CONSOLIDATION OF THE BRIDGE OVER THE MAT RIVER

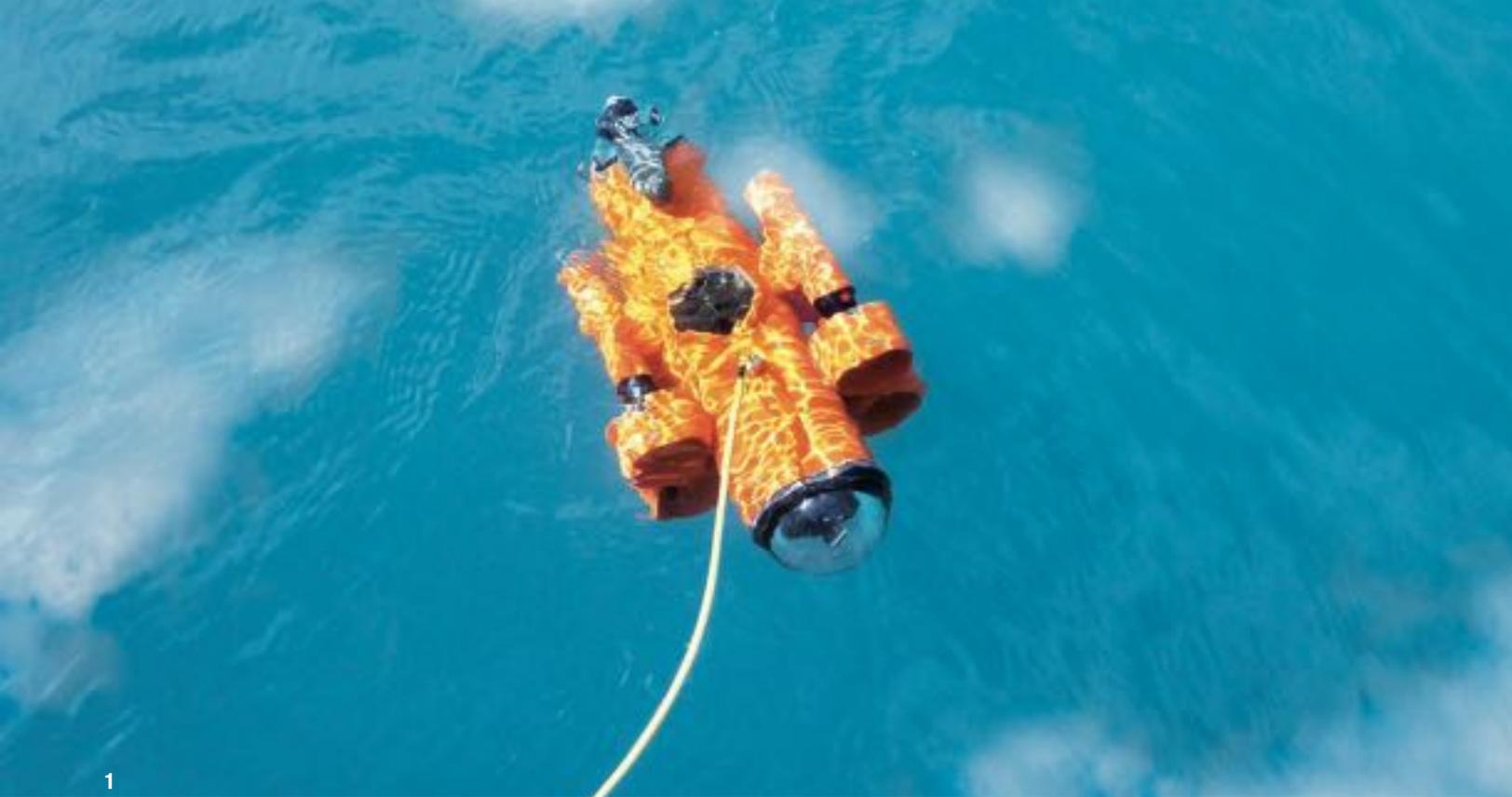
SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY

The Reunion region has urgently launched a project to consolidate the expressway bridge over the Mat River, because of extensive scouring at the level of its North abutment. Cyclonic floods are rapidly eroding the river bed, which has descended by 12 metres in 35 years, and is expected to erode by a further 6 metres. Soletanche Bachy proposed a solution in which the work is carried out from the bank, in front of the existing diaphragm wall, designed on the basis of a 3D survey to confirm its feasibility and choose between various compromises for all the work phases. All the machinery was moved into position by lifting, with cranes of capacity 55 to 300 tonnes. Anchor ties were executed through the reinforced concrete structures using the Hi'Drill method. □

REUNIÓN - REFUERZO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MAT

SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY

La región de la Reunión ha lanzado con carácter urgente un proyecto de refuerzo del puente de la autovía que cruza el río Mat debido a la aparición de importantes socavaciones a nivel de su estribo norte. Las crecidas provocadas por los ciclones erosionan rápidamente el lecho del río, que se ha hundido 12 m en 35 años, y se prevé una nueva erosión de 6 m adicionales. Soletanche Bachy ha propuesto una solución en la que las obras se realizan desde el margen, frente a la pantalla de hormigón existente, diseñada a partir de un levantamiento en 3D para validar su viabilidad y arbitrar diferentes compromisos para el conjunto de fases de la obra. Toda la maquinaria ha sido instalada mediante grúas elevadoras con capacidades de 55 a 300 t. Se han realizado tirantes de anclaje a través de las estructuras de hormigón armado utilizando el método Hi'Drill. □



1

© CESIM

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES D'INSPECTION AÉRIENNE ET SOUS-MARINE

AUTEUR : PATRICK VURPILLOT, GÉRANT DE CESIM - CABINET D'EXPERTISE SUBAQUATIQUE ET D'INGÉNIERIE MARITIME⁽¹⁾

CESIM OUVRE DEUX DÉPARTEMENTS SPÉCIALISÉS DANS L'UTILISATION DES NOUVELLES TECHNOLOGIES D'INSPECTION. LE PREMIER MET EN ŒUVRE UN SCANNER 3D SOUS-MARIN ET UN ECHOSCOPE®, C'EST-À-DIRE UN SONAR À HAUTE RÉOLUTION PERMETTANT UNE VISUALISATION 3D EN TEMPS RÉEL DE PHOTOS DITES « ACOUSTIQUES ». LE SECOND FAIT APPEL À DES DRONES AÉRIENS ET MARITIMES. ILS RÉPONDENT NOTAMMENT À UNE DEMANDE ACCRUE DES DONNEURS D'ORDRE DE RÉALISER DES INSPECTIONS SOUS-MARINES MAIS AUSSI AÉRIENNES DES OUVRAGES : PILES ET TABLIERS DE PONTS, VOÛTES DE BARRAGES, EMBASES, MÂTS ET PALES D'ÉOLIENNES TERRESTRES ET MARITIMES.

1- La flotte actuelle de ROV sera complétée par des modèles de plus grande capacité.

2- De gauche à droite, Romuald Vurpillot et Patrick Vurpillot.

1- The current fleet of ROVs will be added to with larger-capacity models.
2- From left to right, Romuald Vurpillot and Patrick Vurpillot.

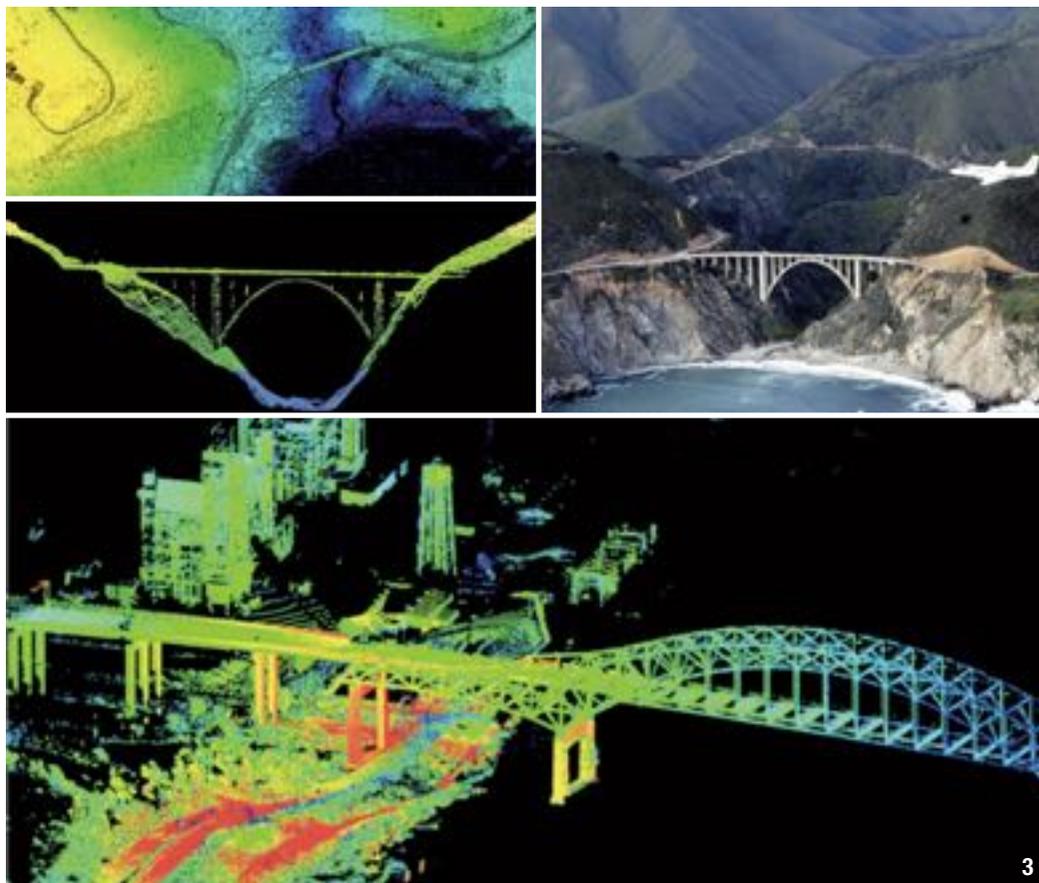


© MARC MONTAGNON

2

Ces départements préfigurent l'avenir de l'exploration sous-marine car leur équipement apporte une qualité de travail en précision, en rendu, en plans, très supérieure à celle qui peut être obtenue avec les plongeurs les plus expérimentés.

Ils répondent aussi à la nécessité qu'ont les donneurs d'ordre de contrôler l'état d'un patrimoine d'ouvrages souvent anciens, quelquefois difficiles d'accès, qui n'ont pas toujours subi les outrages du temps sans quelques dommages et qu'il convient de réparer après inspections. Ceci est désormais largement facilité par les ▹



3- Exemple d'images obtenues avec le système LIDAR.
4- Principe de fonctionnement du système LIDAR.

3- Example of images obtained with the LIDAR system.
4- Operating principle of the LIDAR system.

documents d'une extrême précision et parfaitement lisibles qu'il est possible d'émettre à l'issue de ces inspections, qui constituent en quelque sorte un rapport d'expertise et que les entreprises chargées des travaux éventuels de réhabilitation peuvent utiliser sans problème. À cet effet, à l'issue d'une phase d'ingénierie, Cesim peut préconiser des

techniques de réparation mais peut aussi aller plus loin dans son intervention en montant des dossiers d'appel d'offre à destination du maître d'ouvrage, qu'elle peut également assister lors de leur ouverture pour retenir la solution la mieux appropriée et pour orienter le choix de l'entreprise. Il s'agit dans ce cas d'une maîtrise d'œuvre complète.

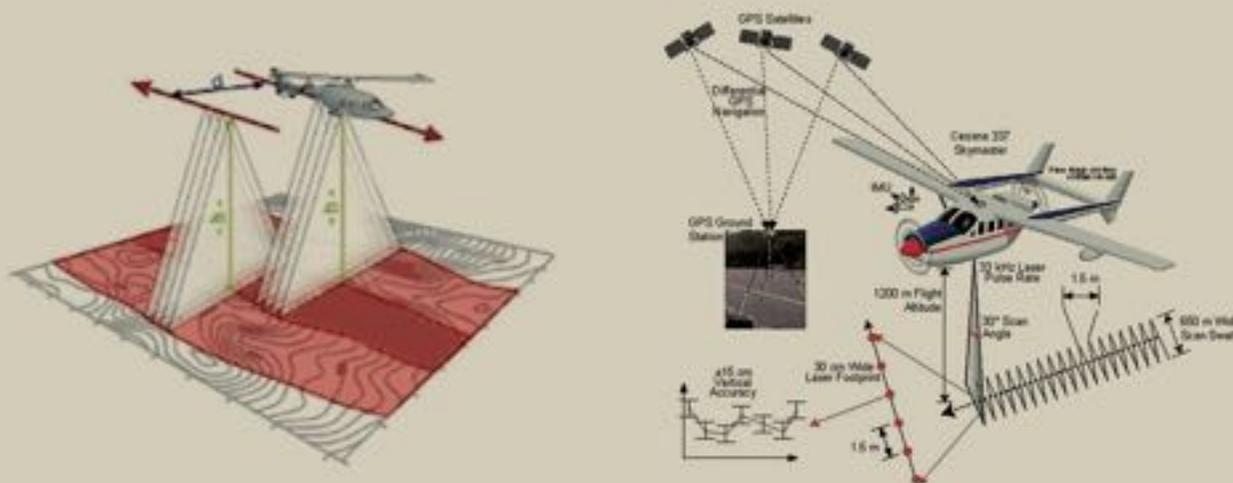
LE SYSTÈME LIDAR

Le système LIDAR (Light Detection and Ranging) est une technologie de télédétection par laser 3D. Il est largement utilisé dans les systèmes d'information géographique (GIS) pour la surveillance et la cartographie des ressources naturelles et des infrastructures (figure 3). Appelé aussi « radar laser » en français, le LIDAR est un système de mesure par

télémétrie laser permettant de cartographier ou plutôt représenter des zones au travers d'un nuage de points dense. Le LIDAR utilise la lumière au travers d'un faisceau focalisé (laser) pour déterminer des distances précisément. Le principe de la télémétrie permet de déterminer la distance d'un objet par l'analyse du délai entre l'émission d'une impulsion et le retour de celle-ci dans le dispositif (en le mettant en rapport avec la vitesse de la lumière : environ $299\,800\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$).

À l'inverse d'un télémètre laser mono-point, le LIDAR va avoir pour particularité d'envoyer plusieurs dizaines de milliers de points par seconde sur un axe rotatif. Cet axe perpendiculaire au déplacement du drone va permettre de représenter l'environnement dans un nuage de points au fur et à mesure de l'avancement du drone dans sa mission.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME LIDAR

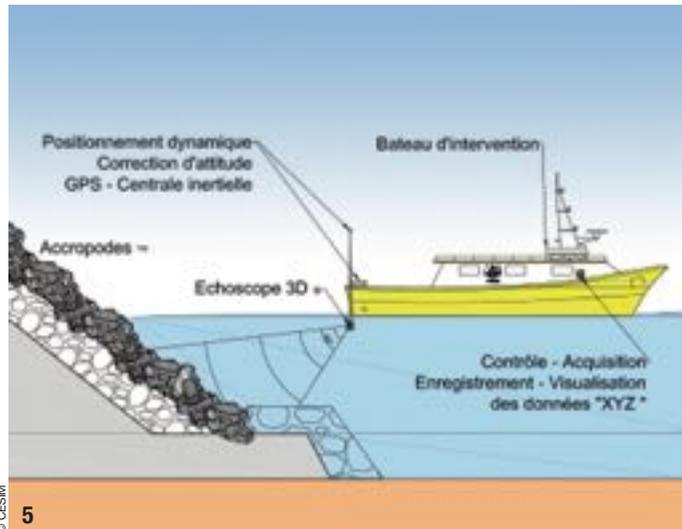


5- Principe du système Echoscope®.

6 & 7- La flotte maritime de l'entreprise est constituée de bateaux en aluminium et de pontons flottants.

5- Principle of the Echoscope® system.

6 & 7- The firm's maritime fleet consists of aluminium boats and floating pontoons.



© CESIM



© CESIM



© CESIM

Le LIDAR, aéroporté ou positionné sur un moyen nautique, doit obligatoirement être couplé à :

- Une centrale inertielle qui va interpréter les mouvements du LIDAR, tant en termes de positionnement en x, y et z que dans son orientation. La centrale inertielle ou IMU (Inertial Measurement Unit) va donc permettre de comprendre quelle était la position et l'orientation du LIDAR pour chaque point qu'il a relevé.
- Un logiciel permettant l'interprétation des points générés par le capteur en cohérence avec les données de la centrale inertielle. Ce logiciel aura ainsi pour but de restituer un nuage de point corrigé en fonction des données de l'IMU.

Dernière particularité fondamentale du LIDAR, celui-ci va être en mesure de recueillir plusieurs points sur un même faisceau, c'est ce que l'on appelle les échos. Ces échos vont pouvoir en quelque sorte « passer à travers la matière » fine comme par exemple des feuilles d'arbre et ainsi servir à positionner plusieurs points sur un même axe. Le LIDAR a été utilisé pour la reconstitution de la grotte de Lascaux 4 ainsi que pour relever des parties entières de la cité antique de Palmyre, en Syrie, avant leur destruction (figure 4).

LE SYSTÈME ECHOSCOPE®

Le système Echoscope® peut être mis en œuvre soit sur un support de surface (vedette, ponton...), soit à bord d'un « ROV » (Remote Operated Vehicle ou sous-marin filoguidé), sur le bras d'un engin.

À la différence d'un appareil photo classique dont le fonctionnement est basé sur la lumière, il fonctionne à partir d'émissions d'ondes sonores qui sont traitées par des logiciels de reconstitution 3D (figure 5).

Grâce à une caméra acoustique 3D, il donne une visualisation précise géoréférencée et autorise des prises de mesure grâce à des données référencées, même dans des conditions de turbidité ou de courantologie importantes, dans des eaux où la visibilité est quasiment nulle, avec une précision de l'ordre de 10 cm.

Alors qu'une caméra Echoscope® permet d'observer des formes avec des détails de 10 à 20 cm, la précision du scanner 3D est de l'ordre du centimètre, quelles que soient les conditions d'utilisation.

Ces appareils ont été utilisés sur des expertises tant en France qu'à l'étranger (principalement Afrique de l'Ouest). ▷



11 © DR

8a & 8b- Le monomoteur Cirrus SR 22 et son équipement de bord.

9- L'hélicoptère Bell 47 pour les reconnaissances aériennes.

10- La flotte comprend des drones octocoptères...

11- ...ainsi que des drones de type « aile volante » eBee de Parrot senseFly.

L'objectif de la mise en œuvre de ces appareils est de parvenir à des mesures et des observations d'une définition très supérieure à celle que peut obtenir un plongeur expérimenté dont les interventions sont limitées par les conditions, parfois dangereuses, dans lesquelles il évolue : les paliers de décompression, les embâcles semi-flottants, le lien avec la surface.

Ils permettent également un géo-référencement par GPS avec une précision décimétrique, voire centimétrique lorsque les données du GPS sont corrigées par un logiciel approprié.

Pour prendre en compte les mouvements parasites du support engendrés par le vent et la houle, les appareils sont nécessairement couplés à une centrale inertielle.

DRONES AÉRIENS...

Cesim est enregistrée à la DGAC (Direction Générale de l'Aviation Civile) après dépôt d'un MAP (manuel d'activités particulières). Ainsi Cesim est autorisé à faire voler ses appareils dans le respect de la réglementation en vigueur. En effet, l'utilisation en extérieur d'engins volants, même de petite taille et

non habités, est considérée comme une activité aérienne et relève donc de la réglementation applicable à l'aviation civile.

Les télépilotes des drones doivent également être habilités par la DGAC.

Dans le cadre de cette activité, les drones ou les engins volants de Cesim peuvent être équipés de LIDAR.

En associant le LIDAR aérien et les moyens subaquatiques, cela permet de réaliser simultanément l'inspection sous-marine et aérienne des ouvrages et avoir ainsi une vue globale 3D de l'ouvrage.

8a & 8b- The single-engine Cirrus SR 22 and its onboard equipment.

9- The Bell 47 helicopter for aerial reconnaissance.

10- The fleet includes octocopter drones...

11- ...and eBee "mobile wing" type drones from Parrot senseFly.



8a



8b



9



10

FIGURES 8a & 8b © CESIM - FIGURE 9 © JAN FLOEMER - FIGURE 10 © DRONE PICTURES

12a & 12b- Les ROV peuvent être équipés d'un système de vision haute performance, de sonar ou de scanner.

13- La digue du port de Sète.

12a & 12b- The ROVs can be equipped with a high-performance viewing system, sonar or scanner.

13- The Sète port breakwater.

... ET DRONES MARITIMES

Afin de répondre à des demandes récentes de notre clientèle, Cesim va s'équiper de drones maritimes électriques flottants notamment pour des mesures d'envasement des bacs de décantation des stations d'épuration, opération très inconfortable réalisée jusqu'alors par un scaphandrier.

Ces drones radio-pilotés, avec un plan de navigation enregistré, sont équipés de sondes bi-fréquences qui permettent de mesurer l'épaisseur de la couche de sédiments. Ces éléments



sont transmis en temps réel à un logiciel à partir duquel il est possible d'établir des plans, des coupes, des cubatures et de déterminer les travaux à effectuer. Ils peuvent également être équipés de scanner 3D posé sur le fond pour effectuer une inspection détaillée du bac et fournir une cartographie complète de l'ouvrage. Cette technique connaît d'autres applications que celles des stations d'épuration : dans les retenues de barrages, dans les cuves de châteaux d'eau, etc.

DU SONAR MONO-FAISCEAU AU SONAR MULTI-FAISCEAU

Pour les inspections en milieu maritime, l'entreprise met en œuvre des sonars. Leur technologie a beaucoup évolué ces dernières années et on est passé des sonars mono-faisceau aux sonars multi-faisceaux.

Un sonar mono-faisceau classique (de type sondeur de navigation par exemple), émet un signal acoustique vers le fond et analyse l'écho retour. L'instant de détection se traduit par un fort écho en provenance du fond.

Avec le sonar multi-faisceaux, le système acoustique permet d'obtenir des hauteurs d'eau à plusieurs endroits sous le navire, sur une bande plus ou moins large de bâbord à tribord.

En phase d'émission, le signal émis par le système multi-faisceaux possède une directivité particulière. ▷



Transmis par une antenne linéaire, le signal envoyé va rencontrer le fond sur une bande très étroite, suivant la ligne de foi du navire, mais très large sur bâbord et tribord.

En phase de réception, l'antenne utilisée en réception est une antenne linéaire, perpendiculaire à l'antenne d'émission (principe des antennes en croix de Mills). Au cours de la phase de réception, chaque transducteur élémentaire, constituant l'antenne, échantillonne les échos renvoyés par le milieu marin. On obtient ainsi une matrice contenant des informations sur le signal reçu, pour tous les transducteurs élémentaires, au cours de toute la phase d'écoute.

Les sonars multi-faisceaux permettent en un seul passage (appelé fauchée) de décrire la bathymétrie d'une bande pouvant atteindre plusieurs kilomètres de largeur.

Ainsi, après post traitement informatique, il est ainsi possible de produire, des images 3D. À la différence de la caméra Echoscope® qui délivre en temps réel une image 3D. La précision du sonar multi-faisceaux est centimétrique, supérieure à celle de la caméra acoustique de l'Echoscope®.

En revanche, le faisceau sonar est arrêté par les obstacles, ce qui n'est pas le cas de l'Echoscope® ou du scanner 3D.

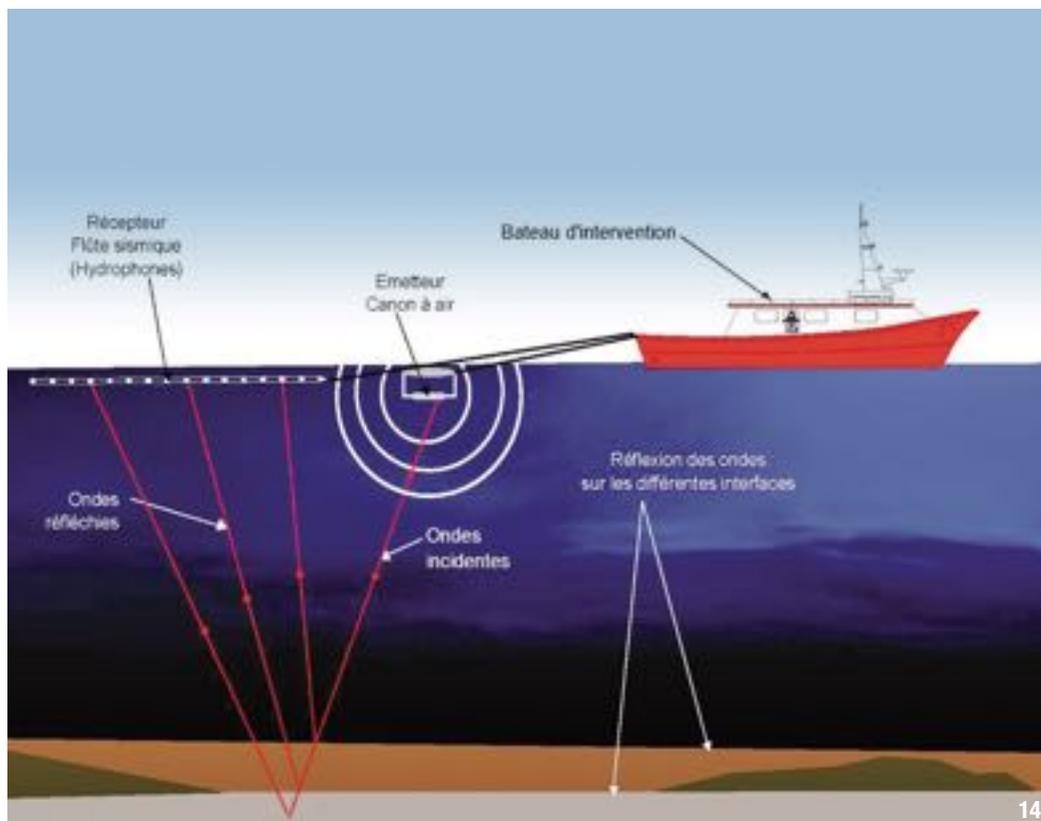
UNE FLOTTE ADAPTÉE POUR L'EAU ET POUR L'AIR

Pour mettre en œuvre les systèmes évoqués précédemment, Cesim dispose, outre une flotte de bateaux en aluminium et de pontons flottants (figures 6 et 7), d'un monomoteur Cirrus SR 22 (figures 8a & 8b) et d'un hélicoptère Bell (figure 9).

À ceci s'ajoutent plusieurs drones légers quadricoptères de 1,5 kg pour faire de l'imagerie ainsi que plusieurs drones à hexacoptères et octocoptères de 7/8 kg. Ces appareils ont une portée radio de 2 km à 2,5 km de rayon pour les relevés LIDAR en 3D.

Les plus lourds de cette flotte s'apparentent à des ailes volantes à voilure fixe et disposent d'un rayon d'action de l'ordre de 30 à 50 km. Ils sont équipés de caméras automatiques qui enregistrent des films des survols (figures 10 et 11).

Récemment, à la demande d'autorités béninoises, une étude pour la mise en œuvre de ces appareils a été demandée afin de quantifier l'érosion côtière sur une cinquantaine de kilomètres de longueur.



14

© CESIM

Ce phénomène, très important au large de certaines côtes africaines, touche également le littoral français, tout particulièrement la côte Sud-Ouest, de part et d'autre de l'estuaire de la Gironde. À partir des relevés, des modélisations peuvent ensuite être réalisées par des entreprises spécialisées pour déterminer les protections à mettre en œuvre dans les sites les plus sensibles.

14- Principe de la reconnaissance par sismique réflexion.

14- Seismic reflection reconnaissance technique.

CESIM C'EST AUSSI : LA SISMIQUE « RÉFLEXION »

La sismique réflexion consiste en une reconnaissance des sous-sols marins en profondeur par émission/réception d'ondes sismiques générées par un canon à air et qui, après avoir été réfléchies sur les différentes interfaces du fond, sont enregistrées par des capteurs spéciaux - hydrophones - contenus dans une ligne tractée à l'arrière d'une vedette automotrice (figure 14).

La profondeur des interfaces rencontrées est définie en fonction des vitesses de propagation calculées pour les milieux traversés.

Ce système portatif est constitué de trois composants principaux : un catamaran qui supporte le canon, un émetteur/récepteur contrôlant l'énergie de la source sismique et une flûte modulable en longueur comprenant 24 hydrophones.

La gestion des mesures, l'enregistrement et le post-traitement sont réalisés grâce au logiciel d'acquisition et traitement des datas SonarWize®.

Les applications de la sismique réflexion sont multiples : profils sismiques marins, lacustres et fluviaux ; reconnaissance des fonds avant dragage, étude géotechnique de site, identification des lits sédimentaires et du bedrock, reconnaissance pour l'implantation des pipelines.

Ces drones peuvent également assurer le relevé de voies ferrées et de lignes électriques ainsi que l'inspection des mâts et des pales des éoliennes dont les hauteurs les plus récentes de plus de 100 m rendent difficiles l'intervention de nacelles, même de forte capacité. Guidés par système laser, ces drones suivent exactement le tracé de la pale sur toute sa longueur.

L'entreprise envisage par ailleurs de compléter sa flotte actuelle de ROV, constituée essentiellement de matériels de petite dimension, par des modèles de plus grande capacité permettant d'embarquer soit un bras manipulateur, soit du matériel électronique plus lourd et qui soient capables de descendre jusqu'à 300 m de profondeur, voire plus (figure 1).

Pour la surveillance et l'inspection de barrage, les ROV peuvent être équipés d'un système de vision haute performance, de sonar, de scanner pour détecter d'éventuelles fissures ou défauts de surface sur le parement du barrage ou des anomalies sur les grilles et tubes de vidange, même en milieu turbides (figures 12a & 12b).

Ils sont légers, faciles à manipuler et à leur mise à l'eau est simple.

L'objectif visé est celui de l'inspection des futurs champs éoliens en mer pour lesquels la surveillance de l'ancrage des éoliennes nécessitera des maté-

riels plus lourds et plus performants. De tels matériels pourront permettre également l'inspection d'ouvrages portuaires avec des profondeurs d'eau dépassant fréquemment les 15-20 m et pour lesquels des interventions par scaphandriers peuvent être problématiques en raison des paliers de décompression exigés par la physiologie humaine.

DIGUE DU PORT DE SÈTE

Parmi les chantiers réalisés par l'entreprise, l'inspection de la digue du port fluvio-maritime du port de Sète demeure une référence (figure 13). La section récente de cette digue, construite en 2001, longue de 2,3 km, joint la digue Est du port de Sète et la digue Sud du port de Frontignan, construites en 1982-1986. L'ensemble mesure 3,5 km de long. La digue fluvio-maritime, dont la hauteur varie de 10 à 12 m, protège le chenal de navigation entre les deux ports. Elle comporte :

- Un noyau en tout-venant de carrière (0/500 kg) de 4 à 5 m de hauteur, reposant sur un tapis anti-poinçonnement, surmonté de 2 à 5 m d'enrochements de taille variable (0,5/2 t, 5/7 t et 8/10 t) ;
- Une butée en enrochements (2/5 t) de part et d'autre ;
- Une protection des talus par des blocs d'Accropodes® de 4 m³ (8 t) côté mer, et des enrochements côté chenal.

Cette digue d'une dizaine d'années présentait des défauts provoqués par les assauts de la houle puissante de la Méditerranée (démaillage des Accropodes®, affaissements ponctuels, cavités) qu'il importait de localiser précisément pour un éventuel projet de réhabilitation. Cette inspection a été menée par Cesim en utilisant notamment une caméra acoustique, un ROV et un sonar.

Des contacts sont en cours pour réaliser des interventions similaires sur



15

CESIM EN BREF

Cesim est un cabinet d'expertise subaquatique et d'ingénierie maritime. Son domaine d'activité couvre l'ensemble des opérations nécessitant une intervention dans l'eau, dans l'air ou à terre (figure 15), par des scaphandriers, des robots immergés filoguidés, des caméras acoustiques sous-marines ; du plus simple au plus compliqué, à l'aide du système Echoscope®, du procédé de sismique réflexion et, depuis peu, de scanners 3D, du LIDAR, de drones et des moyens aériens et maritimes, de ROV équipés d'un système de vision haute performance et de sonar 3D. Cesim apporte ses compétences en France et à l'étranger, avec une répartition de 70% du chiffre d'affaire en France et 30% à l'étranger.

15- Surveillance de travaux dans le cadre de la pose d'un émissaire en mer de rejet des eaux d'une station d'épuration.

15- Monitoring of work for laying a sea outfall sewer.

plusieurs ouvrages (digues, quais) pour d'autres ports.

Cesim a investi dans ces nouvelles technologies pour répondre avec plus d'efficacité et de sécurité à l'ensemble des requêtes de ses clients.

TERMINAL DE POINTE NOIRE AU CONGO BRAZZAVILLE

Cesim intervient également dans la maîtrise d'ouvrage. Bolloré Ports a lancé de nombreux travaux de modernisation et d'extension de Congo Terminal (filiale du groupe Bolloré Africa Logistics)

à Pointe Noire, au Congo Brazzaville. Une première tranche de 800 m de quais de 15 m de tirant d'eau (quai G), a été mise en service en 2015.

Une deuxième tranche de 800 m (quai D), offrant également un tirant d'eau de 15 m, a été mise en service partiellement mais sera réceptionnée officiellement début 2017.

Le programme d'investissement mis en place depuis le début de la concession a déjà permis d'optimiser les capacités du terminal à conteneurs.

Grâce à ses récentes acquisitions et à l'adaptabilité de ces nouveaux matériels, Cesim est en mesure d'assurer la surveillance de ces ouvrages.

DEMAIN : COTONOU ?

D'autres interventions doivent être réalisées dans le port de Cotonou, au Bénin. Cesim a proposé aux autorités portuaires de réaliser l'inspection du pied de digue à l'aide de l'Echoscope®. Les nouveaux appareils acquis par Cesim ont des facilités de mise en œuvre et permettent une réactivité aux demandes de nos clients, sans commune mesure avec le matériel et les équipes hyperbares pour des interventions humaines en conformité avec la législation du travail en ce domaine. L'objectif immédiat est de faire connaître aux administrations et aux donneurs d'ordre la disponibilité et les performances de ces nouvelles technologies. C'est presque un autre métier de l'inspection sous-marine qui est en train de naître, en particulier pour travailler dans les milieux difficiles - eaux très chaudes, eaux très froides, visibilité faible, pollution -, la profondeur où l'intervention humaine est rendue pénible dans un environnement naturel peu accueillant. □

1 - **NDLR** : Patrick Vurpillot est Ingénieur ESTP/FEANI, scaphandrier INPP, expert fluvial agréé par le Chambre des experts fluviaux et expert près la Cour d'appel de Bordeaux.

ABSTRACT

NEW AERIAL AND UNDERWATER INSPECTION TECHNOLOGIES

PATRICK VURPILLOT, CESIM

Cesim has opened two departments specialised in the use of new inspection technologies. *The first one uses an underwater 3D scanner and an Echoscope®, i.e. a high-resolution sonar allowing real-time 3D viewing of so-called "acoustic" photos. The second makes use of aerial and maritime drones. They are a response, in particular, to increased client demand for the performance of underwater and aerial inspections of structures: bridge piers and decks, dam arches, and bases, towers and blades of onshore and offshore wind turbines.* □

LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE INSPECCIÓN AÉREA Y SUBMARINA

PATRICK VURPILLOT, CESIM

Cesim inaugura dos departamentos especializados en el uso de las nuevas tecnologías de inspección. *El primero emplea un escáner submarino en 3D y un Echoscope®, esto es, un sónar de alta resolución que permite visualizar en 3D y en tiempo real fotografías llamadas "acústicas". El segundo recurre a drones aéreos y marítimos. Ambos responden básicamente a la creciente demanda de los contratistas de realizar inspecciones submarinas y aéreas de las construcciones: pilas y tableros de puentes, bóvedas de presas, basamentos, mástiles y palas de turbinas eólicas terrestres y marítimas.* □



© PHOTOTHÈQUE TOURNAUD 1

ÉCLUSE DE ROCHETAILLÉE-SUR-SAÔNE : ALLONGEMENT ET MURS-GUIDE

AUTEURS : LOÏC HARAUCHAMPS, RESPONSABLE CENTRE DE TRAVAUX, ENTREPRISE TOURNAUD - CYRIL COUSTON, DIRECTEUR DE TRAVAUX, ENTREPRISE TOURNAUD

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE (VNF) A CONFIE À UN GROUPEMENT EMMENÉ PAR L'ENTREPRISE TOURNAUD (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) LES TRAVAUX D'ALLONGEMENT DU SAS ET DE LA CONSTRUCTION DU MUR-GUIDE DE L'ÉCLUSE DE ROCHETAILLÉE-SUR-SAÔNE SITUÉE AU NORD DE LYON AU PK 17 DE LA SAÔNE. LES TRAVAUX, TRÈS TECHNIQUES, SE DÉROULENT DE SEPTEMBRE 2015 À FIN FÉVRIER 2017 POUR UN MONTANT DE PLUS DE 6 MILLIONS D'EUROS HT. ILS CONSISTENT À CONSTRUIRE UN PROLONGEMENT DE 10,50 M DE L'ÉCLUSE EXISTANTE, UN MUR-GUIDE EN RIVE GAUCHE ET UNE ESTACADE EN RIVE DROITE POUR ASSURER L'ENTRÉE DES CONVOIS DE 190 M DANS LE SAS EN TOUTE SÉCURITÉ.

Le marché en cours fait suite à un premier marché passé par VNF en 2012 qui concernait l'allongement de l'écluse de Rochetaillée-sur-Saône.

Suite à d'importants aléas géotechniques (découverte du substratum rocheux plus haut que prévu) et struc-

turel (découverte de crevasses au niveau du radier de l'existant), ce marché a été résilié après des travaux de confortement et la fabrication en usine des éléments du caisson métallique formant l'allongement.

Déjà membre du Groupement Momentané d'Entreprises (GME) ayant tra-

1- Vue générale du chantier durant l'immersion du caisson.

1- General view of the project during submersion of the caisson.

vaille sur le premier marché, l'entreprise Tournaud avait une très bonne connaissance du sujet et a remporté avec un nouveau GME le présent marché consistant à (figures 1, 2, 13) :

→ Terminer l'allongement du sas de l'écluse en posant le caisson préalablement fabriqué ;

VUE EN PLAN



© PHOTO THÉQUE TOURNAUD

2

- Conforter le talus en aval rive gauche ;
- Construire un mur-guide en aval rive gauche de 90 m pour aligner les navires et protéger le caisson ;
- Construire une estacade en rive droite de 20 m pour guider les navires et protéger le caisson ;
- Reconstruire la rampe de mise à l'eau des canoés ;
- Aménager un chemin de service en pied du talus conforté ;

2- Vue en plan.
3- Mise à l'eau du caisson.

2- Plan view.
3- Launching the caisson.

- Construire un belvédère entre la berge et le mur-guide pour accueillir le public.

Ce nouveau marché a été notifié le 4 août 2015 et les équipes méthodes et structures ont dû commencer les études « sur les chapeaux de roues » afin que le caisson formant l'allongement soit prêt pour l'immersion le 6 mars 2016, date du début de l'arrêt de navigation.

ALLONGEMENT

Le principe de base de ce nouveau marché est de rendre réversible le processus d'immersion pour éviter qu'en cas de problème l'écluse ne se trouve entravée par le caisson échoué devant le sas. En effet, les analyses de risques conduites conjointement par VNF, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) et le GME ont montré que les conditions hydrauliques (niveau d'eau et débit) pouvaient amener à surseoir à la pose du caisson.

D'autre part, dans le cas d'une pose hors tolérances, il fallait pouvoir remettre le caisson en flottaison et le déplacer afin de pouvoir rendre l'écluse à la navigation à l'issue de la période de chômage (arrêt de la navigation). Les éléments formant le radier de l'ouvrage ont été approvisionnés au port Édouard Herriot à Lyon et assemblés à terre pour constituer le socle de l'ouvrage de section 19,00 x 15,00 m.

Ce radier sera surmonté de 4 niveaux de bajoyers (murs de l'écluse) de 2,50 m chacun pour une hauteur totale d'ouvrage de 11,25 m.

Le 30 septembre 2015, le radier de 112 t est prêt. Il est mis à l'eau à l'aide de 2 grues télescopiques de 700 t et 450 t (figure 3).

Après pose du premier niveau de bajoyer, ferrailage du radier et bétonnage des seuils, l'ouvrage est prêt pour rejoindre l'écluse de Rochetaillée.

Il s'agit de faire naviguer un caisson métallique hors gabarit (15 m de largeur) sur le Rhône et la Saône durant un trajet de 18 km à travers la ville de Lyon.

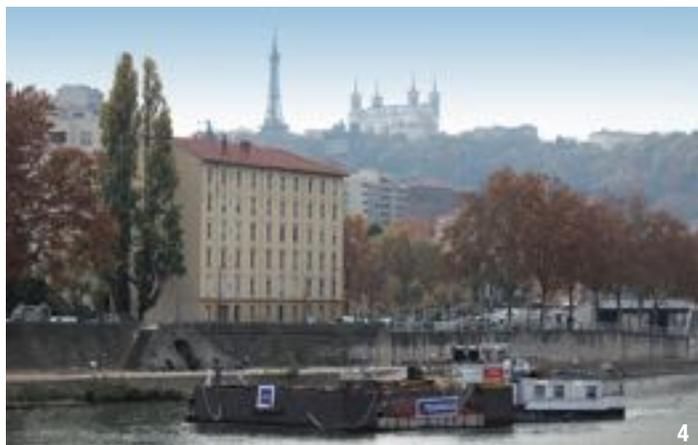
Une fois les études de stabilité terminées, les équipements de sécurité mis à bord et les assurances souscrites, il faut attendre des conditions de débit et de vent favorables pour réaliser le transfert. C'est donc le 3 novembre 2015, que le convoi s'élance depuis le port Édouard Herriot au sud de Lyon sous couvert d'un avis à la batellerie restreignant la navigation et avec une escorte de la brigade fluviale (figure 4). Au bout de plus de 4 heures de navigation, le caisson atteint sa destination et il est amarré, à l'abri du courant, dans l'ancienne écluse qui servira de darse de construction.

Suivent 4 mois de travaux sur le caisson pour le préparer à son immersion. Les 3 niveaux supérieurs de bajoyer sont progressivement mis en place (Niveau 2 : 19/11/15 - Niveau 3 & 4 : 8/12/15) avec une grue de 500 t de capacité pour un levage de 36 t avec une portée de 40 m.



© PHOTO THÉQUE TOURNAUD

3



4



5

© PHOTOHEQUE TOURNAUD

Le caisson atteint alors un tirant d'air de plus de 10 m et son enfoncement est toujours maîtrisé pour éviter l'échouage dans l'ancienne écluse.

Une importante quantité de renforts structurels (18 t) sont mis en place par soudure dans le caisson afin de rigidifier la structure qui se déformerait sous l'effet des sous-pressions lors de l'immersion.

À ce niveau, les calculs d'armatures en structure mixte montrent que la densité d'acier très importante (66 t) et la présence de quelques 12 000 goujons électro-soudés sur la peau métallique rendront l'utilisation de vibreurs à béton impossible.

La décision est donc prise de rechercher une formule de béton autoplaçant qui sera coulé sous eau. Ce choix implique encore un renfort de la structure pour contrer les efforts de poussée du béton très fluide.

Début février, le caisson est complètement ceinturé par des échafaudages suspendus qui permettent un accès à toute la surface pour effectuer les reprises de peinture : un complexe IM2 Zni très difficile à réaliser en extérieur dans des conditions hivernales (figure 5).

Il faut durant cette période préparer le caisson à recevoir les vantaux formant la nouvelle porte de l'écluse. Les portes ne peuvent plus être posées dans le caisson en flottaison, comme le phasage initial le prévoyait, sans risquer une dégradation de l'ouvrage due à des sous-pressions liées à un enfoncement dans l'eau trop important. Cette tâche est donc reportée à la période de chômage (arrêt de navigation).

En parallèle de ces travaux sur l'ouvrage, il faut dans cette période effectuer des travaux préparatoires tels que : le déroctage et dragage d'environ 1 500 m³ pour préparer une surface de pose plane dans un banc calcaire

très dur, de nombreuses reconnaissances subaquatiques et par ROV pour recueillir un maximum d'informations sur l'existant et les environnants, le scellement d'armatures de reprise, etc.

Le 6 mars 2016 à 21h00, débute la période d'arrêt de navigation sur la Saône qui va durer 11 jours.

Dès lors, les équipes vont travailler 24h/24 et 7j/7 pour garantir une réouverture de l'écluse le 17 mars à 5h00 du matin.

Durant cette période, seront réalisés les travaux suivants :

MISE EN PLACE DU DISPOSITIF DE GUIDAGE

Pose de butées et de rails sur les bajoyers de l'écluse existante afin de guider l'ouvrage dans sa descente.

LE TRANSFERT DU CAISSON AU DROIT DE SA ZONE DE POSE

Rotation de 90° de l'ouvrage en flottaison et transfert vers la zone de pose.

Opération réalisée de nuit avec des moyens nautiques.

LA MISE EN PLACE DES PIEUX D'APPUI ET DE LA STRUCTURE DE VÉRINAGE

4 pieux métalliques de diamètre 914 mm, d'épaisseur 20 mm et de longueur 26 m sont mis en place dans les fontaines du caisson prévues à cet effet. Ces pieux prennent appui sur le calcaire et serviront de portique de pose fixe pour la descente de l'ouvrage (figure 6).

DESCENTE DE L'OUVRAGE

En tête des pieux, sont mises en place des plateformes de vérinage sur lesquelles 6 opérateurs pourront mettre en mouvement les vérins creux. L'ouvrage, après ballastage à l'eau, sera suspendu par 4 torons de câbles. Afin de limiter les déplacements latéraux, l'ensemble de la structure de pose est rigidifié dans les 2 directions

par un système de poutres métalliques.

La descente contrôlée durera environ 5 heures pour une distance verticale parcourue de 8,50 m.

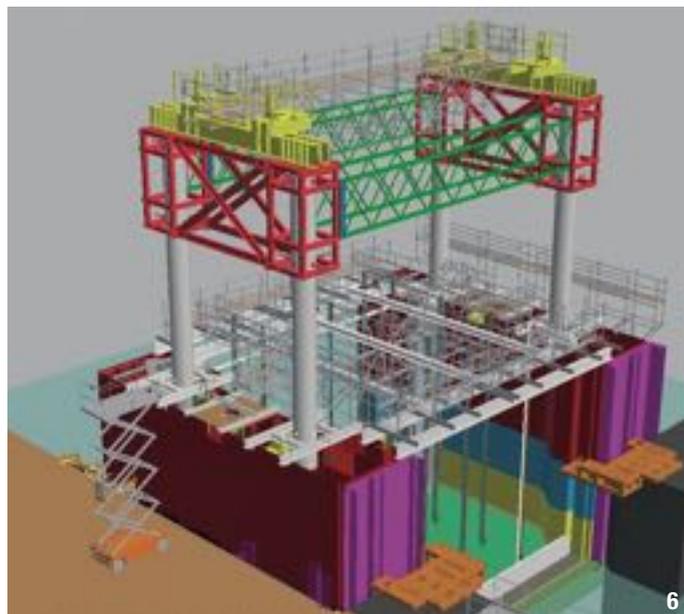
Le principe de cette descente est de garder une réversibilité du processus, ce qui n'aurait pas été le cas avec un remplissage du caisson au béton.

De plus, le remplissage à l'eau équilibrera les sous-pressions lors de la descente (figure 7).

BÉTONNAGE PÉRIPHÉRIQUE DE L'OUVRAGE

En prévision de l'injection de béton sous le radier, il a fallu créer un coffrage périphérique entre la sous-face du radier et la plateforme en calcaire.

Avant le chômage, des gabions ont été positionnés sur la plateforme de pose en périphérie du futur ouvrage. Une mise en œuvre de béton réalisée à l'aide de scaphandriers complète ce dispositif d'étanchéité.



6

© PHOTOHEQUE TOURNAUD

4- Transfert fluvial du caisson.

5- Caisson dans l'ancienne écluse avant immersion.

4- River transfer of the caisson.

5- Caisson in the old lock before submersion.

6- 3D view of the jacking structure.



7

© PHOTOTHÈQUE TOURNAUD

INJECTION DE BÉTON AUTO-PLAÇANT SOUS LE RADIER

Afin de bien reporter les efforts verticaux sur le substratum calcaire, une injection de béton autoplaçant est faite en sous-face du radier pour créer une assise.

L'injection est réalisée par 2 pompes à béton au travers de 19 cheminées prévues à cet effet.

Des tubes-évents permettent de contrôler le remplissage jusqu'à la sous-face de l'ouvrage.

Cette tâche conditionne la suite des travaux car il est impératif, pour pouvoir passer aux étapes suivantes, que l'assise soit correcte et que le béton ait commencé sa prise.

7- Caisson en cours d'immersion.

8- Détail du raccordement du caisson sur l'écluse.

7- Caisson undergoing submersion.

8- Details of caisson connection to the lock.

Pour s'assurer du début de prise, des capteurs de température ont été placés sous la tôle du radier. Les simulations du laboratoire béton de Vinci Construction France, faites avec les températures très basses relevées au moment du bétonnage, ont conduit à décaler la suite des travaux de 24h et à réorganiser les 5 derniers jours de la période de chômage.

L'arase supérieure du béton est maintenue 20 cm en dessous du niveau final dans le but de ne pas noyer la nappe de ferrailage dans un béton altéré qui aurait été réglé sous l'eau. Un béton de finition sera appliqué durant le chômage une fois le sas mis à sec.

DÉMONTAGE DE LA STRUCTURE DE VÉRINAGE

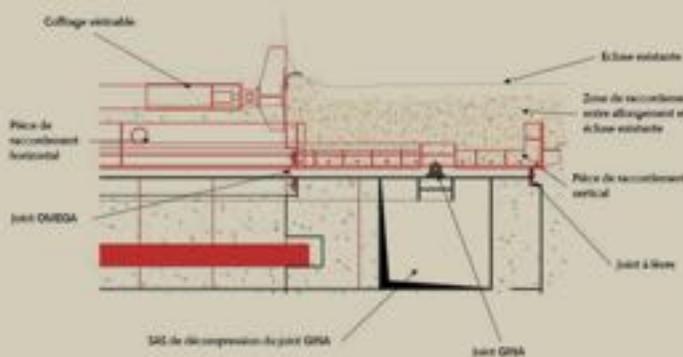
Une fois l'ouvrage à sa place définitive, son assise recrée et lesté par plus de 600 t de béton ajoutées dans le radier, la structure de vérinage peut être démontée.

L'opération doit être réalisée en 12 heures, de nuit, à l'aide de nacelles et de 2 équipes de cordistes. ▶

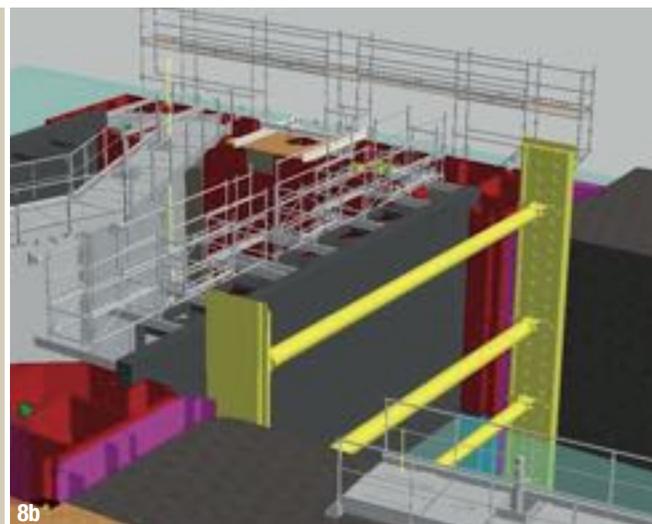
BÉTONNAGE DU RADIER DE L'ALLONGEMENT

Ce bétonnage de 330 m³ est réalisé à l'aide de 2 pompes à béton distribuant un béton chaud selon les préconisations du laboratoire compte tenu de la faible température de la Saône (4°C).

DÉTAIL DU RACCORDEMENT DU CAISSON SUR L'ÉCLUSE

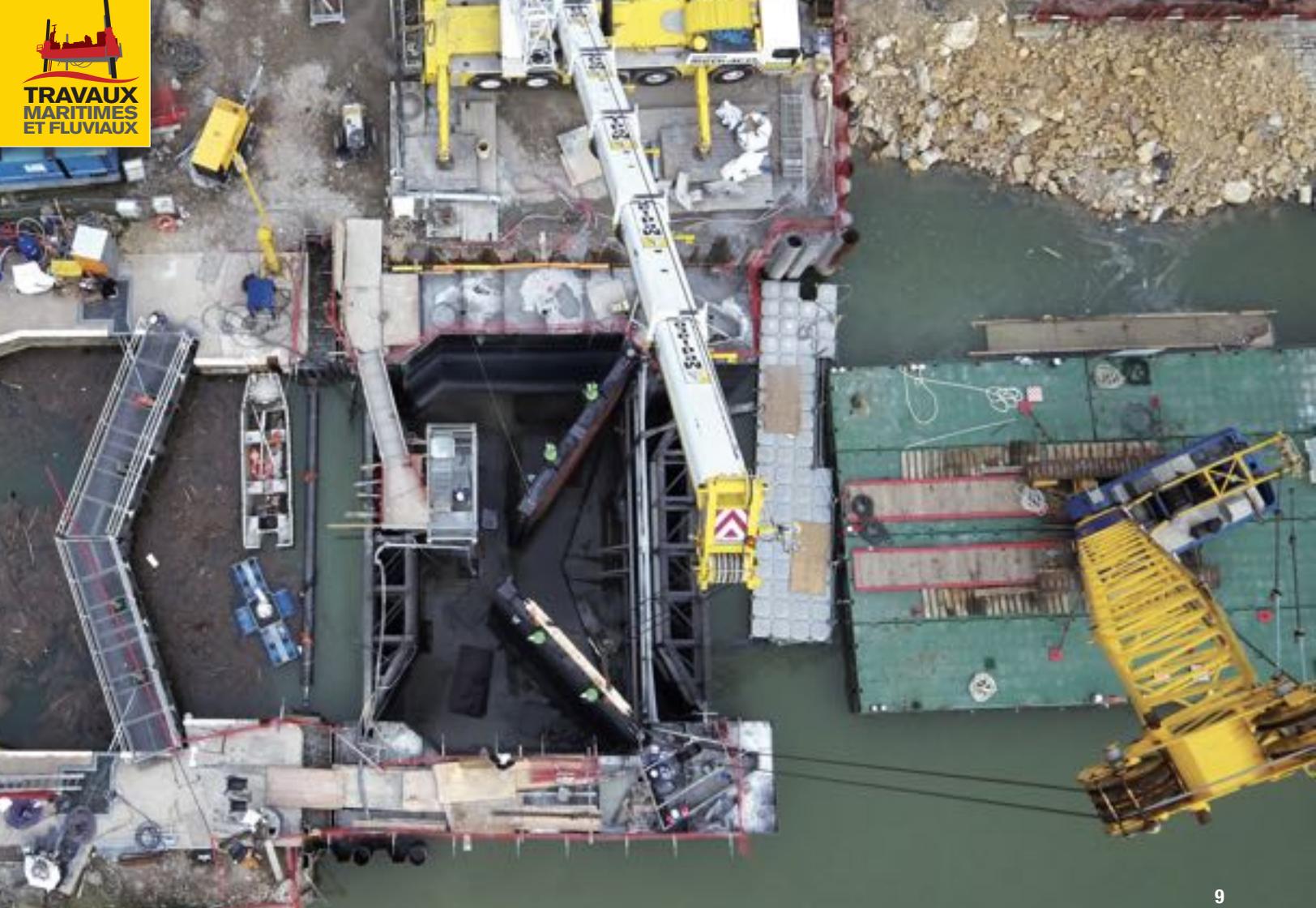


8a



8b

© PHOTOTHÈQUE TOURNAUD



9

© PHOTOThÉQUE TOURNAUD

BÉTONNAGE DES BAJOYERS - PREMIÈRE LEVÉE DE 3,5 M

Il s'agit du bétonnage symétrique des 2 murs latéraux de l'allongement pour un volume de 360 m³. Cette mise en œuvre de béton ne peut intervenir qu'au bout de 12 heures de prise du béton du radier afin de contrer les surpressions verticales induites par ce béton très fluide. Pour limiter la poussée sur les tôles du caisson, la vitesse de bétonnage est limitée à 35 cm/h.

MISE EN PLACE DES BATARDEAUX

Le temps de prise de la première levée des bajoyers est mis à profit pour poser des batardeaux en amont et aval du sas de l'allongement. Ceux-ci permettront de poser la porte hors d'eau et d'assurer une finition propre du radier.

BÉTONNAGE DES BAJOYERS - SECONDE LEVÉE DE 3,5 M

Suite et fin du bétonnage des bajoyers pour un volume équivalent à la première phase. Le bétonnage des bajoyers est arrêté à 1 m de son arase définitive. Le dernier coulage sera fait hors chômage et après le passage de l'ensemble des réseaux électriques et hydrauliques nécessaires à la gestion des nouvelles portes. L'ancrage des vérins de porte est déporté plus bas que cet arrêt de bétonnage afin de pouvoir réaliser manuellement les réglages des portes.

COFFRAGE VÉRINABLE AU NIVEAU DU RACCORDEMENT

Les aléas géotechniques survenus plus tôt avaient rendu impossible la mise à sec du parement aval de l'écluse existante, ce qui aurait permis de reprendre le génie civil afin d'offrir un plan vertical apte à recevoir le complexe de joint assurant l'étanchéité entre l'existant et l'allongement, tout en évitant la transmission des efforts de l'un à l'autre (figure 8b).

**9- Pose
des vantaux.
10- Trépa-
nage pieu
de l'estacade
rive droite.**

**9- Placing the
gate leaves.
10- Pile
chiseling on
the right-bank
breakwater.**

Le complexe de joint est composé de (figure 8a) :

- 1 joint à lèvres en extérieur empêchant le passage des impuretés dans le complexe ;
- 1 joint Gina : joint comprimé à 20 t/m qui est le joint principal du système et qui ne peut être remplacé ;
- 1 joint oméga en intérieur qui double le joint principal pour pallier une éventuelle défaillance. Celui-ci peut-être changé.



10

© PHOTOThÉQUE TOURNAUD

Ce complexe est mis en place entre l'allongement et une pièce dite de raccordement. Cette pièce a été mise en place hors d'eau sur l'ouvrage en flottaison et permet de précontraindre le joint Gina à 20 t/m grâce à une série de tiges filetées.

Cette pièce en forme de U permet de coffrer la face aval de l'écluse existante pour recréer le béton d'appui au joint. Afin de ne pas bloquer la descente du caisson, la pièce métallique est à une distance raisonnable de l'existant. Le béton coulé entre les deux est coffré latéralement par deux tôles (1 rive droite et 1 rive gauche) de 9,35 m de haut et 1,35 m de large, montées sur 4 vérins de 12 m. L'ensemble préassemblé à terre est mis en place à la grue en un seul élément, et la mise en pression des vérins assure la stabilité des coffrages (figure 8).

MISE À SEC DU SAS DE L'ÉCLUSE

Une fois que le béton de la deuxième levée des bajoyers a fait sa prise, le sas de l'allongement peut être mis à

sec avec une pompe de 1 200 m³/h et 4 pompes de 250 m³/h.

BÉTON DE FINITION DU RADIER

Suite à la mise à sec du sas, un nettoyage soigneux du fond est réalisé avec camion aspirateur et nettoyeur haute pression, pour assurer une reprise de bétonnage dans les règles de l'art.

La couche de finition du radier vient enrober la nappe supérieure du ferrailage. Cette nappe n'a pas été prise en compte dans le dimensionnement

pour la mise à sec, les efforts dus aux sous-pressions étant repris par la section basse du béton connectée à la structure métallique du caisson.

MISE EN PLACE DES PORTES DE L'ÉCLUSE

Les portes d'écluse sont mises en place dans l'allongement, il s'agit des portes de secours qui étaient stockées à terre. L'acheminement des vantaux de largeur 7,00 m et hauteur 9,35 m, est fait par camions. Les éléments de 25 t sont retournés à l'aide d'une grue de 250 t et d'une grue de 60 t. La grue de 250 t effectue ensuite la mise en place (figure 9).

ESSAIS ET RÉGLAGE DES PORTES AVEC ACTIONNEMENT MÉCANIQUE

Les portes étant installées sur leurs appuis (crapaudines) et fixées en tête par les colliers tourillons, les essais d'ouverture et les réglages sont effectués en mode manuel par la société D.I.P. (Membre du GME).

BÉTONNAGE DE LA PIÈCE DE RACCORDEMENT/DÉPOSE DU COFFRAGE VÉRINABLE. REMISE EN EAU/DÉPOSE DES BATARDEAUX/REPRISE DE LA NAVIGATION

Les travaux prévus durant l'arrêt de navigation sont terminés avec 2 heures d'avance.

L'allongement sera opérationnel en mode automatisé le 11/05/16.

RENFORCEMENT DE SOL

Une des principales contraintes du marché est de ne pas gêner la navigation lors des travaux et donc de ne pas stationner de matériel nautique dans le chenal de navigation.

Pour cela, il était prévu dans le marché de réaliser le mur guide rive gauche depuis la berge avec des moyens terrestres.

Le poids des pieux métalliques et des éléments en béton armé à mettre en œuvre a nécessité l'utilisation d'une grue treillis à chenilles de 130 t de capacité.

11- Structure en béton préfabriquée du mur-guide.

11- Precast concrete structure of the guide wall.



Pour que cette grue puisse circuler sans risque en tête du talus, il a fallu procéder au renforcement de ce dernier en réalisant sous la plateforme en tête de perré 174 inclusions rigides suivant un maillage 2,00 x 2,00 m.

Ensuite, un matelas de 80 cm en matériaux graveleux 0/60 mm permettant la diffusion des efforts a été mis en place sur les inclusions.

Il a aussi fallu réaliser une dalle de transition pour sécuriser des réseaux de gaz et d'électricité traversant la Saône et passant sous la plateforme de circulation des engins de chantier.

MUR-GUIDE ET ESTACADE

Afin d'aider les navigants en approche de l'écluse qui sont soumis aux remous créé par le barrage de Couzon, VNF a décidé de construire un mur-guide et une estacade de presque 100 m de long qui permettent d'aligner les convois avant leur entrée dans le sas. Ces ouvrages sont constitués de (par ordre de mise en œuvre) :

- 1- 27 pieux métalliques de diamètre 1 220 mm, d'épaisseur 21,5 mm et de longueur 15 m.
- 2- 27 coiffes métalliques de diamètre 1 422 mm d'épaisseur 11,7 mm, supportant 3 niveaux de platines sur 6,00 m de hauteur.



12

© PHOTOTHÈQUE TOURNAUD

- 3- 50 poutres (basses et intermédiaires), préfabriquées, en béton armé de section maximum 1,95 m x 0,50 m pour des portées allant jusqu'à 6,90 m entre pieux.
- 4- 25 poutres en L, préfabriquées, permettant de coffrer le clavage supérieur.

- 12- Mur-guide rive gauche.
- 13- Maquette du projet.

- 12- Left-bank guide wall.
- 13- Project model.

- 5- 55 éléments de boucliers de 5,75 m de hauteur, préfabriqués pesant jusqu'à 13 t, formant la surface d'appui pour le guidage des bateaux et posés sur les poutres en L.
- 6- 37,2 t d'armatures pour le clavage des boucliers avec la poutre en tête.



13

© PHOTOTHÈQUE TOURNAUD

7- 2,6 t d'armatures pour le clavage des poutres intermédiaires et basses autour des pieux.

8- 150 m³ de béton C35/45 pour le clavage de l'ensemble des pièces. Le phasage et les méthodes de réalisation ont dû être adaptés au début du chantier suite à des discussions avec les navigants. Il s'agissait de sécuriser le passage des bateaux tout en assurant la sécurité des équipes, du matériel et des ouvrages en cours de construction.

TRAVAILLER EN NAVIGATION AVEC RISQUE DE CHOCS DE BATEAUX

Durant la mise en fiche des pieux, le guide de battage se trouve à la limite du chenal de navigation. Lors de leur passage, les bateaux passent à moins de 30 cm des pieux et touchent même pour certains le guide. Ce guide spécifique, permettant de travailler pieu à pieu, est un outil très fragile. Il se fixe sur le dernier pieu battu et permet après un réglage par vérins hydraulique de recevoir le pieu suivant dans une fontaine mobile dont l'écartement peut varier de 2,5 m à 6,5 m (figure 10).

OFFRIR UNE ZONE D'APPUI ÉVOLUTIVE AUX BATEAUX EMPRUNTANT L'ÉCLUSE

Les bateaux doivent impérativement éviter les tubes mis en place et non solidarisés aux pieux précédents par clavage. Il faut donc leur donner une zone d'appui au fur et à mesure de l'avancement des travaux, leur permettant de se redresser rapidement après avoir évité la zone en travaux. Ces zones sont matérialisées par des signaux verts et rouges qui se translatent à l'avancement du chantier.

Du point de vue de la méthodologie, les pieux sont trépanés dans le calcaire sur une hauteur de 4,50 m. Ils sont méthodiquement creusés et battus avec un marteau hydraulique de forte puissance.

Une fois le tube à la cote, il est recépé et une coiffe métallique est minutieusement réglée sur sa tête afin de compenser les défauts d'alignement et de verticalité dus au battage. L'espace annulaire entre la coiffe et le tube est ensuite injecté avec du béton.

Dans un second temps, la structure en béton armé est posée (figure 11) :

→ Les poutres basses et intermédiaires pour constituer un appui continu aux boucliers ;

→ La poutre en L, support des boucliers et assurant le coffrage de la poutre structurelle en tête ;

→ Les boucliers, équipés de plaques métalliques de blindage.

Pour réaliser l'estacade en rive droite, côté Saône, l'entreprise Tournaud a embarqué, pour les travaux de battage, une grue treillis de 60 t sur un ponton.

Les éléments en béton armé, quant à eux, ont été posés depuis la berge à l'aide d'une grue télescopique de 250 t suivant le même phasage que pour le mur guide (figure 12).

Viennent ensuite pour terminer le projet (figure 13) :

→ La création d'une rampe à canoé construite dans l'épaisseur du perré en aval du mur guide (avec la nécessité de reprendre une partie du perré maçonné) ;

→ La création d'une plateforme belvédère en bois sur structure métallique fondée sur micropieux côté Saône et sur une longrine en gradin coté berge. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Voies navigables de France

MAÎTRE D'ŒUVRE : Compagnie Nationale du Rhône - Direction de l'Ingénierie

BUREAU DE CONTRÔLE : Cerema

MANDATAIRE : Entreprise Tournaud (Vinci Construction France)

COTRAITANTS : Soletanche Bachy (micropieux) / Ducrocq Ingénierie Process (pose des portes de l'écluse) / M.C.C. (soudure du caisson et charpente métallique)

SOUS-TRAITANTS : Freyssinet (vérinage du caisson) / C.T.S. (travaux subaquatiques) / Serelec (électricité - automatisme - hydraulique) / Npa (ferrailage allongement) / Arnholdt (échafaudage) / Sgc (inclusion confortement) / Deniz (retouche peinture) / Mills (passerelle - échafaudage) / Soo (cordiste) / Bathys (Bathymétrie Multifaisceaux)

PRINCIPALES QUANTITÉS

ALLONGEMENT :

- 250 m³ de déroctage en eau
- 200 t de charpente métallique pour la construction du caisson
- 66 t d'armatures métalliques
- 17 800 kg de renforts structurels pour les sous-pressions et pour la poussée du béton
- 12 000 connecteurs électro-soudés pour la connexion de la peau métallique au béton
- 1 700 m³ de béton dont 1 490 m³ coulés en eau
- 42 procédures d'exécution / 29 notes de calculs / 112 plans d'exécutions

MURS GUIDE + BELVÈDÈRE :

- 260 t de tubes métalliques pour pieux
- 50 t de tubes pour les coiffes métalliques
- 55 t de supports métalliques pour la mise en place du complexe de structures BA
- 390 m³ de béton préfabriqué et 180 m³ de béton de clavage
- 39 t d'armatures pour les clavages
- 42 t de charpentes métallique pour la structure du belvédère
- 500 m² de platelage bois du parvis belvédère
- 16 procédures d'exécution / 40 notes de calculs / 75 plans d'exécution

ABSTRACT

ROCHETAILLÉE-SUR-SAÔNE LOCK: EXTENSION AND GUIDE WALLS

LOÏC HARAUCHAMPS, TOURNAUD - CYRIL COUSTON, TOURNAUD

Voies navigables de France (VNF) awarded a consortium led by Tournaud (Vinci Construction France) a contract for lock-chamber extension works and construction of the guide wall for the Rochetaillée-sur-Saône lock located north of Lyon on the Saône River (point PK 17). The work was carried out from September 2015 to end-February 2017. The contract, worth more than €6 million excluding VAT, involved constructing a 10.50-metre extension for the existing lock, a guide wall on the left bank and a breakwater on the right bank to allow 190-metre convoys to enter the lock chamber safely. This highly technical work was performed by a workforce of 50 on site and more than 25 engineers and designers in 10 different engineering offices who worked on various subjects such as the controlled lowering by jacking of a 500-tonne structure or the mix design of an underwater self-placing concrete. □

ESCLUSA DE ROCHETAILLÉE-SUR-SAÔNE: PROLONGACIÓN Y MUROS GUÍA

LOÏC HARAUCHAMPS, TOURNAUD - CYRIL COUSTON, TOURNAUD

La sociedad Voies navigables de France (VNF) ha encargado al consorcio liderado por la empresa Tournaud (Vinci Construction France) las obras de prolongación de la esclusa y la construcción del muro guía de la esclusa de Rochetaillée-sur-Saône, situada al norte de Lyon, en el PK 17 del Saône. Las obras se desarrollarán de septiembre de 2015 a finales de febrero de 2017, en el marco de un contrato valorado en más de 6 millones de euros (IVA n/i). Estas consisten en construir una prolongación de 10,50 m de la esclusa existente, un muro guía en la orilla izquierda y una estacada en la orilla derecha para permitir la entrada de convoyes de 190 m en la esclusa con total seguridad. Estas obras, muy técnicas, han movilizado a 50 personas a pie de obra y más de 25 ingenieros y proyectistas de 10 gabinetes de estudio, que han trabajado en cuestiones tan variadas como el descenso controlado por cilindros hidráulicos de una construcción de 500 t o la formulación de un hormigón autocompactante submarino. □



MELCHORITA PÉROU : UNE JETÉE GNL EN AMÉRIQUE DU SUD

AUTEUR : CHRISTOPHE CARREAU, DIRECTEUR INGÉNIERIE TRAVAUX MARITIMES, SAIPEM SA

LA CONSTRUCTION DU COMPLEXE PORTUAIRE DE L'USINE D'EXPORTATION DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ DE MELCHORITA, SUR LA CÔTE PACIFIQUE DU PÉROU, À 170 KM AU SUD DE LIMA, EST UN PROJET D'INFRASTRUCTURES QUI POSITIONNE LE PÉROU COMME LEADER DANS L'INDUSTRIE DU GNL EN AMÉRIQUE DU SUD. CET OUVRAGE CONSTITUE UN ATOUT POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA CROISSANCE DU PAYS ET DE SA POPULATION. LE PROJET GLOBAL COMPORTE UN TERMINAL MARITIME DE STOCKAGE ET D'EXPÉDITION DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ, UNE USINE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ ET UN GAZODUC D'ENVIRON 300 KM QUI RELIE LE CHAMP DE GAZ FALKLAND À L'USINE PAMPA MELCHORITA. LA RÉALISATION DU TERMINAL MARITIME A ÉTÉ ATTRIBUÉE AU CONSORTIUM CDB, AVEC SAIPEM SA (FRANCE) COMME LEADER.

LE CONTEXTE

CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

Le port d'exportation de Pampa Melchorita est le premier à être construit en Amérique du Sud. Il est destiné à l'exportation de 4,5 MTPA (millions de tonnes par an) de gaz naturel liquéfié vers les marchés du Mexique et de la Californie par le biais de navires transporteurs de GNL (figure 1).

Il est situé entre les villes de Chincha et Cañete, dans une zone désertique à environ 170 km au sud de la capitale du Pérou, Lima, au bord du Pacifique, le long de la route panaméricaine qui

longe la côte Ouest de l'Amérique du Sud, du Panama jusqu'au sud du Chili.

CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

Le site se situe dans une région régulièrement soumise à des événements sismiques majeurs.

L'ouvrage a d'ailleurs connu, lors de la phase de démarrage des travaux, un séisme d'intensité 8,1. L'ouvrage est soumis à des houles longues générées sur les milliers de km du Pacifique, présentant des périodes quasi constantes de l'ordre de 17 s et une forte énergie. Les structures ont donc été dimension-

nées de façon à pouvoir supporter ces événements sismiques et environnementaux sans dommage significatif.

CONTEXTE LOGISTIQUE

Une autre contrainte est la localisation du projet dans une zone désertique, avec absence de ressources à proximité.

LE CONCEPT TECHNIQUE

Pour répondre et satisfaire à ces différentes conditions et spécifications, Saipem a développé un choix technique de l'ouvrage comportant des pieux

métalliques battus, des structures métalliques préfabriquées à Lima et apportées sur site via la Panaméricaine, des dalles béton préfabriquées sur site, des blocs de protection de carapace de la digue fabriqués sur site.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

La vue en plan (figure 2) présente les installations maritimes constituant le poste de chargement de l'usine de gaz naturel liquéfié, en particulier :

- 1- La digue de protection principale, d'une longueur de 800 m, pour la protection des bateaux ;



1

© SAPEM

- 2- L'ouvrage d'accès à la plate-forme de chargement, long de 1 350 m ;
- 3- En extrémité de la jetée, la plateforme de chargement des méthanières, équipée de 4 bras de chargement ;
- 4- Les ducs d'Albe d'accostage et d'amarrage et leurs passerelles d'accès ;

1- Vue panoramique du projet.
2- Vue en Plan.

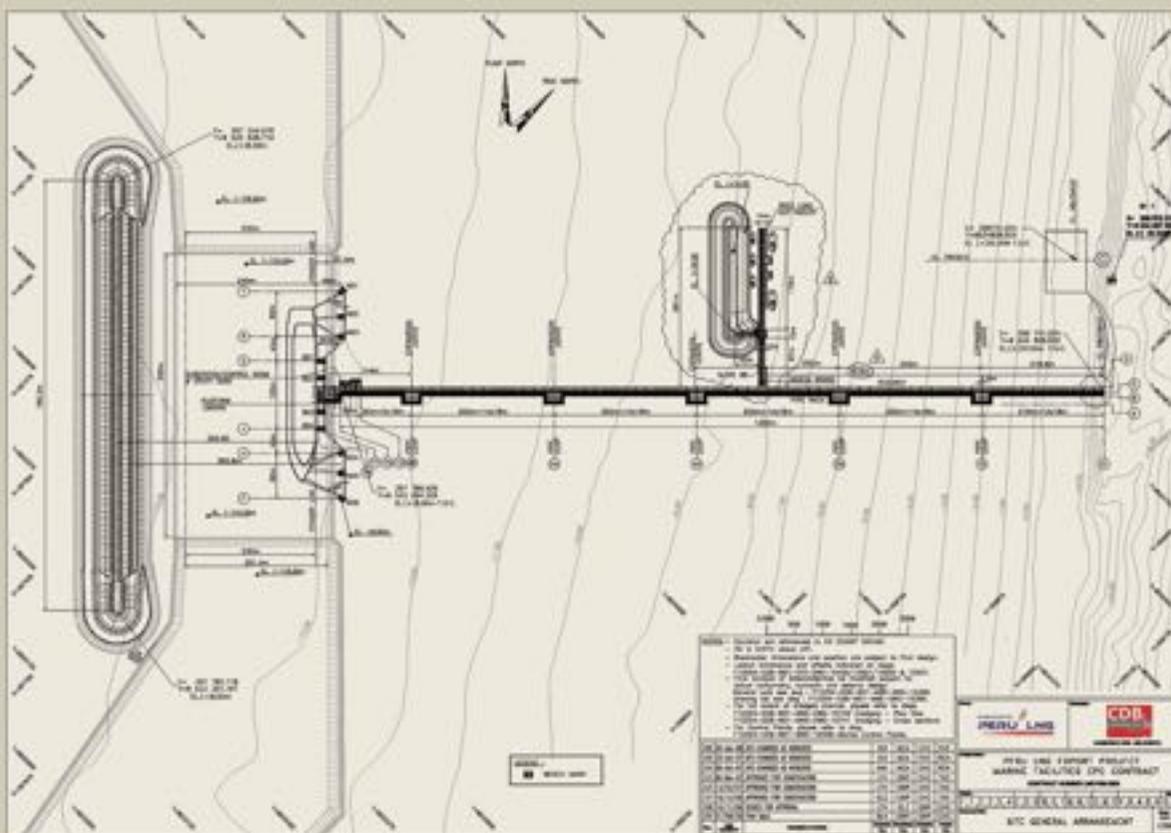
1- Panoramic view of the project.
2- Plan view.

- 5- Le quai secondaire pour les navires de service (utilisé également en phase de construction pour le chargement des enrochements constituant la digue de protection principale).
La digue est construite avec les enrochements extraits d'une carrière locale, développée et exploitée par le groupe-

ment, située dans les Andes, à 25 km à l'est de l'installation de GNL.
Les quantités suivantes ont été mises en œuvre :
→ 14 238 t de pieux métalliques de diamètre 1 220 mm ;
→ 9 231 t de structures métalliques ;
→ 6 433 m³ de béton de dalle ;



VUE EN PLAN



© SAPEM
2



3

© SAPEM

- 78 554 m³ de BCR (Blocs Cubiques Rainurés de 5 m³ et 8 m³ en béton constituant la carapace de la digue de protection) ;
- 1 100 000 m³ d'encrochements pour la digue principale et 142 000 m³ d'encrochements pour la digue secondaire (port de service).

Les travaux ont également requis la construction d'un quai de 200 m de long et parallèle à la côte, positionné à 600 m de la plage, utilisé pour le chargement des barges à clapets servant à la construction de la digue de protection principale, puis ensuite comme quai de service pour les remorqueurs et les navires de service (figure 3).

Pour le besoin des travaux un pont d'accès temporaire permettant la circulation des camions et des engins vers la digue principale pour la mise en œuvre des carapaces de protection a été réalisé entre la plateforme de chargement et la digue de protection (figure 4).

Ce pont sera démonté en phase finale, avant livraison des ouvrages.

DESCRIPTION DE LA JETÉE

- La structure de la jetée se compose de :
- Pieux en acier API 5LX65 et 5LX56. Ces pieux ont un diamètre de 1 220 mm, une longueur variable

entre 32 et 40 m et des épaisseurs variant entre 22 et 38 mm.

- Poutres transversales métalliques posées sur chaque file transversale de pieux, transmettant les efforts de la structure aux pieux supports fichés dans le sol.
- Poutrelles longitudinales qui supportent les dalles et transmettent les efforts vers les poutres transversales.
- Contreventement des poutrelles longitudinales, distribuant des efforts transversaux sur la structure.
- Dalles préfabriquées constituant le platelage de la voie d'accès à la plate-forme de chargement, afin de permettre les opérations sur les installations de traitement et chargement du gaz, les inspections, les contrôles des appareils, les mesures des rejets dans l'atmosphère, etc. Dans la phase de construction, ce platelage permet l'accès et l'alimentation du *cantitravel*. Il permet également le passage des camions transportant le tout-venant et les encrochements pour la construction des digues principales et secondaires. Les dalles présentent une résistance à la compression de 40 MPA, elles ont une dimension unitaire dans le sens de la jetée de 3 m et une largeur transversale

3- Vue générale des ouvrages.

4- Vue générale depuis la mer.

5- Montage et poussage des tuyauteries.

3- General view of the works.

4- General view from the sea.

5- Pipe assembly and pushing.

les poutrelles longitudinales. Ces rails servent au déplacement par poussage des structures supports de tuyauteries jusqu'à leur position finale, depuis la zone de montage à terre (figure 5).

- Pont temporaire d'accès à la digue principale : ce pont provisoire vient dans l'alignement de la jetée d'accès. Le principe structurel est identique à celui de la jetée principale. Sa fonction est de permettre l'accès pour l'amenée du noyau en tout-venant, des encrochements et des blocs préfabriqués de la carapace de protection jusqu'à la digue principale. Il a été intégralement démonté, avec arrachage des pieux, avant livraison de l'ouvrage.

de 9 m. Toutes les dalles sont préfabriquées sur site et transportées sur l'ouvrage pour y être installées à l'avancement.

- L'ouvrage d'accès est équipé de garde-corps conçus pour supporter un effort de cisaillement de 450 KN, correspondant à l'impact que pourrait transmettre un camion benne chargé d'encrochement en cours de transit vers la digue de protection.
- Parallèlement à l'installation des dalles, des rails servant à l'installation des structures support de tuyauteries sont installés sur

CANTITRAVEL

La méthodologie de construction est essentiellement basée sur un *cantitravel* constitué d'une plate-forme qui se déplace le long de poutrelles rails, et qui porte la grue qui réalise les principales activités de construction.

Cet équipement permet de réaliser la jetée en démarrart depuis la terre (figure 6) et d'avancer en mer en se posant sur l'ouvrage qui vient d'être réalisé. Cette méthode permet de s'affranchir de moyens navals et de mieux



4



5

© SAPEM



© SAIPEM

6

gérer les aléas climatiques et conditions de mer. Le *cantitravel* est équipé de guides qui assurent la verticalité et le positionnement des pieux lors de leur battage. Ces guides de battage en encorbellement sont positionnés latéralement et à l'avant du *cantitravel*. Ils permettent le battage et l'installation, en une seule installation, de trois à quatre des pieux en même temps (figure 7). Ce type d'équipement est régulièrement utilisé par Saipem.

Le projet a utilisé simultanément deux *cantitravels* (figure 8), l'un pour la réalisation de la jetée principale, et l'autre pour l'ouvrage d'accès à la digue secondaire et au port de service.

PLATEFORME AUTOÉLÉVATRICE

Le chantier utilise également une plate-forme auto élévatrice (figure 9)

6- Démarrage des travaux du cantitravel.

7- Battage des pieux de la jetée au cantitravel.

8- Utilisation simultanée de 2 cantitravels.

6- Start of work by the cantitravel device.

7- Cantitravel pile driving for the jetty.

8- Simultaneous use of 2 cantitravel devices.

mobilisée en éléments conditionnés dans 27 conteneurs de 6 m de large et 12 m de long. Elle est arrivée et assemblée dans le port de Callao pour ensuite être remorquée jusqu'au site de Melchorita. Sur cette plate-forme est installée une grue modèle Terex HC 275 d'un poids de 215 t, qui opère deux marteaux hydrauliques pour le battage des pieux. Elle est réservée à l'installation des ducs d'Albe d'amarage et d'accostage et de 10 passerelles d'accès ainsi que des équipements qui sont installés sur ces ducs d'Albe (figure 10).

Les superstructures métalliques des ducs d'Albe, supportant les éléments préfabriqués de dalles installés sur site, ont été fabriquées dans le yard de Sima à Callao (Port de Lima) et transportées par mer sur une barge.

LES TRAVAUX

La localisation du projet dans une zone désertique, avec absence de ressources à proximité, amène des choix constructifs particuliers.

Les achats ont privilégié autant que possible la production nationale, avec en particulier la production de toutes les structures métalliques par des entreprises de construction péruviennes, ces structures étant amenées sur site soit par convoi exceptionnel par la route Panaméricaine, soit par moyen maritime.

Les éléments béton (dalles, blocs BCR) ont été préfabriqués sur site. Les tronçons de pieux livrés sur site à longueur de 12 m ont été rabotés avant installation à la longueur requise (jusqu'à 50 m), dans les ateliers de soudure et peinture dédiés (figure 11). ▷

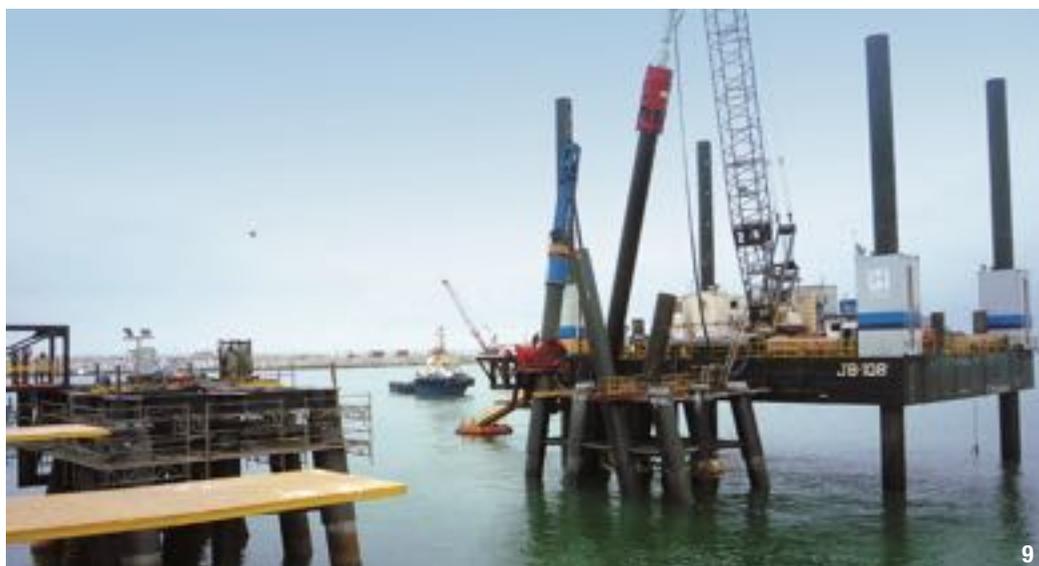


© SAIPEM

7



8



9- Installation des ducs d'Albe d'amarrage à la jack-up.

10- Installation des ducs d'Albe d'amarrage à la jack-up (en arrière-plan).

9- Installation of mooring posts for securing to the jackup rig.

10- Installation of mooring posts for securing to the jackup rig (in the background).

Les personnels locaux sont systématiquement sollicités, avec en cas de nécessité formation et acquisition des qualifications requises (soudeurs).

Une route de 25 km construite pour ce projet permet d'accéder à la carrière ouverte par le consortium, avec une flotte de 50 camions, qui produit les 2,5 millions de tonnes de matériaux rocheux nécessaires à la construction des digues (figure 12).

La construction des ouvrages s'étale sur une période de 34 mois, dont 12 mois pour la jetée, 8 mois pour les ducs d'Albe et 18 mois pour la digue de protection principale. Le projet mobilise en pointe plus de 1 500 personnes travaillant jour et nuit sur le site. Il s'appuie sur les équipes d'ingénierie et projets à Lima, Paris, Curitiba (Brésil), et Aalst (Belgique).

QUALITÉ, SÉCURITÉ ET L'ENGAGEMENT POUR UN PROJET ZÉRO ACCIDENT

Afin de répondre aux exigences et objectifs du Projet Melchorita, Saipem et ses partenaires ont mis en place des programmes d'encadrement, formation, prévention et contrôle dans le domaine de la qualité et plus particulièrement de la sécurité.

Ces programmes et particulièrement le programme LIHS (Leadership in Health & Safety) développé par Saipem, ont permis de réaliser plus de 5 millions d'heures travaillées sur l'ensemble des sites sans incident majeur.

SÉISME, UNE SOLIDARITÉ FACE À L'ÉPREUVE

Plusieurs mois après la mise en vigueur du contrat, un tremblement de terre d'intensité 8,1, inflige d'énormes

dégâts aux cités de Chincha, Cañete, Pisco et Ica, villes situées à proximité immédiate de l'épicentre et à moins de 40 km du site de construction.

Le séisme provoque une réaction et une solidarité immédiates du projet vis-à-vis du personnel local et des communautés alentour.

La mobilisation des engins de terrassement et de déblaiement permet au groupe d'intervention du projet de rétablir rapidement la communication par la route panaméricaine et d'accéder à l'église de Pisco, où le dégage-

ment rapide des décombres permet de sauver la vie à deux personnes prisonnières de l'effondrement qui fera 146 victimes. La solidarité s'exprime ensuite par la mise en place de cuisines de campagne, où seront préparés et servis jusqu'à 1 500 repas par jour aux sans-abri durant plusieurs semaines.

SÉISME, UNE COURSE CONTRE LA MONTRE

Le projet est également impacté par les déplacements importants d'un pan entier des contreforts du plateau sur

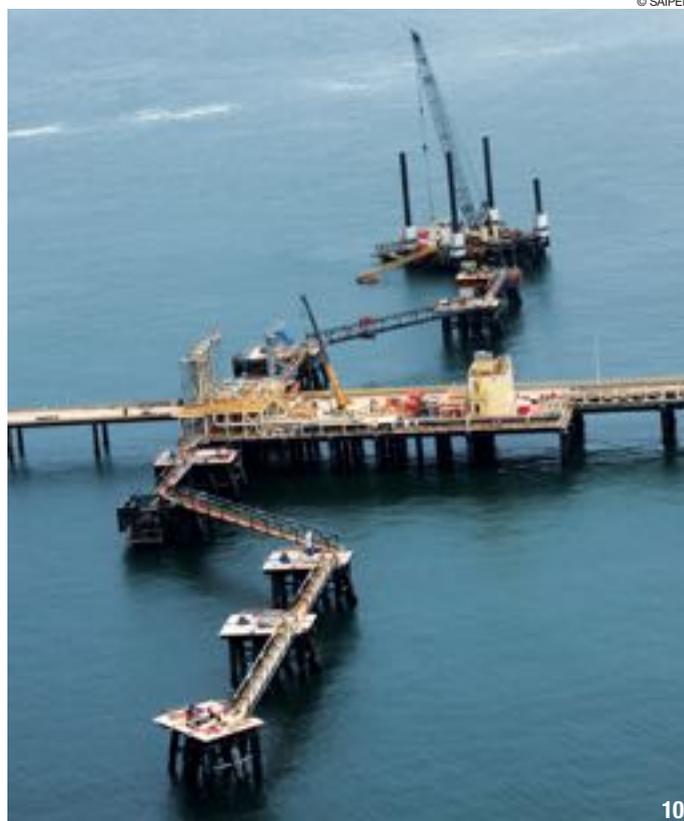
lequel se construisent les installations de liquéfaction et de stockage du GNL. La physionomie du projet tout entier est impactée par cet événement majeur et oblige toute l'équipe projet à se lancer dans une course contre la montre pour modifier la philosophie d'exécution afin de maintenir, à la demande du client, la date d'accostage du premier méthanier. L'équipe projet et le client doivent notamment redéfinir de nouvelles bases techniques permettant de repenser le design de la jetée, colonne vertébrale de l'ouvrage dont le planning de construction est critique pour le respect des délais de réalisation du projet.

DES ACTIONS SOCIALES CULTURELLES ET SPORTIVES

Cette intervention a marqué le début de l'ensemble des actions sociales que le projet a développées, avec tous les acteurs locaux, afin de créer les conditions de relations harmonieuses et durables entre les communautés de la zone d'influence du projet, les autorités locales et le client, à travers des projets intéressant les populations des régions de Chincha et Cañete, principaux bassins de population aux alentours du projet.

Le consortium CDB développe, dès le démarrage du projet, deux écoles qui permettent à des enfants issus de familles défavorisées de la région de pratiquer la danse et la musique afro pour l'une et le football pour l'autre. Au-delà de cet enseignement, le consortium CDB travaille sur quatre axes principaux :

- Enseignement, pratique, étude et promotion de la musique et danse locales (cours, spectacles, culture, etc.) ;
- Tutorat scolaire et familial (suivi et



10



11

© SAIPEM

appui de la performance scolaire des enfants, complément de l'apprentissage scolaire, suivi des relations intrafamiliales, prévention des violences familiales et sexuelles) ;
 → Formation aux valeurs (où l'accent est mis sur la culture de paix, le respect mutuel, l'interculturalité) ;
 → Assistance et bilans nutritionnels et médicaux aux jeunes et familles. Ces projets CDB afro et CDB sport auront concerné jusqu'à 220 jeunes encadrés par des professeurs, sportifs,

11- Vue générale avec au premier-plan les installations de chantier et les aires de préfabrication et stockage.

12- Vue de la carrière.

11- General view, with, in the foreground, the site facilities and the prefabrication and storage areas.

12- View of the quarry.

artistes et autres acteurs bénévoles de la communauté appuyant ces initiatives. Ils auront donné lieu à de nombreux événements où se mêlent la danse, le rythme, et le sourire des enfants et l'émotion de leurs parents. Des partenariats développés avec la FIFA, l'UNESCO, le Rotary Club, permettent de travailler vers une pérennisation de ces structures après la fin du projet, la présence organisatrice de CDB devant céder la place à terme à la structure du client.

CONCLUSION

La jetée du projet Melchorita est un de ces beaux projets qui font appel à des techniques innovantes de conception et de fabrication, qui demandent une adaptation rapide et exigeante aux contraintes locales. Les personnels expatriés et les personnels locaux qui y ont participé rentrent fiers de leur travail. La compétence de l'entreprise et de ses hommes en ressortent grandis techniquement et humainement. □



© SAIPEM

12

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : Perú LNG

ENTREPRISES : Consortium constitué de la JV Saipem SA (France) / Odebrecht (Brésil), et de l'entreprise Jan de Nul (Belgique)

PRINCIPALES QUANTITÉS

14 238 t de pieux métalliques de diamètre 1 220 mm

9 231 t de structures métalliques

6 433 m³ de béton de dalle, 78 554 m³ de BCR (Blocs Cubiques Rainurés en béton de 5 m³ et 8 m³)

1 100 000 m³ d'encrochements pour la digue principale e

142 000 m³ d'encrochements pour la digue secondaire du port de service

ABSTRACT

MELCHORITA, PERU: AN LNG JETTY IN SOUTH AMERICA

CHRISTOPHE CARREAU, SAIPEM SA

The Melchorita LNG Jetty Project is being carried out on the Pacific Coast of Peru, 170 km from the capital Lima, as part of the Melchorita LNG Terminal. The contract was awarded by Peru LNG to a consortium formed by Saipem SA, Odebrecht and Jan de Nul. The 1350-metre jetty is a design based on steel piles supporting the LNG pipe racks, steel structures and roadways manufactured in Peru. □

MELCHORITA, PERÚ: UN MUELLE DE CARGA DE GNL EN SUDAMÉRICA

CHRISTOPHE CARREAU, SAIPEM SA

El proyecto Melchorita, ubicado en la costa pacífica de Perú, a 170 km de Lima, y parte de la terminal de GNL de Melchorita, fue encargado por la compañía Perú LNG al consorcio de empresas Saipem SA / Odebrecht / Jan de Nul. El muelle largo de 1.350 m cuenta con un diseño contemplado con pilotes de acero que soportan las tuberías de gas natural licuado, estructuras y pavimento fabricados localmente en Perú. □



1
© SOLETANCHE BACHY

RECONSTRUCTION D'UN QUAI DANS UN PORT PÉTROLIER À TRINITÉ-ET-TOBAGO

AUTEUR : ROMUALD DAGRON, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

DANS LE CADRE DU PROJET D'EXTENSION DES ACTIVITÉS DU PORT DE BRIGHTON, EN RÉPUBLIQUE DE TRINITÉ-ET-TOBAGO, LES ÉQUIPES DE SOLETANCHE BACHY RECONSTRUISENT LE QUAI N°2 POUR LUI PERMETTRE D'ACCUEILLIR AUSSI BIEN DES NAVIRES DE TYPE PANAMAX QUE LES REMORQUEURS ASSURANT LE RAVITAILLEMENT DES NOMBREUSES PLATES-FORMES PÉTROLIÈRES DE L'ÎLE. À PEINE INSTALLÉES, SUITE À UN ÉVÈNEMENT IMPRÉVU, LES ENTREPRISES DU GROUPEMENT ONT DÛ CONCEVOIR UN PROJET VARIANTE EN UN MOIS. ELLES RÉUSSISSENT À TENIR DES DÉLAIS TRÈS SERRÉS GRÂCE À DES MÉTHODES ET DES PROCÉDÉS INGÉNIEUX.

CONTEXTE DU PROJET

CONTEXTE GÉNÉRAL

Situées à vingt kilomètres au large du Venezuela, les deux îles qui constituent la République de Trinité-et-Tobago sont les plus méridionales de l'archipel des Antilles (figure 2). Les sous-sols des eaux territoriales de la zone regorgent de gaz et de pétrole. C'est pour accueillir de nouveaux acteurs de l'industrie parapétrolière que l'énergéticien National Energy (NE) a décidé d'augmenter les capacités du port industriel de Brighton (ville de La Brea),



2
© SOLETANCHE BACHY

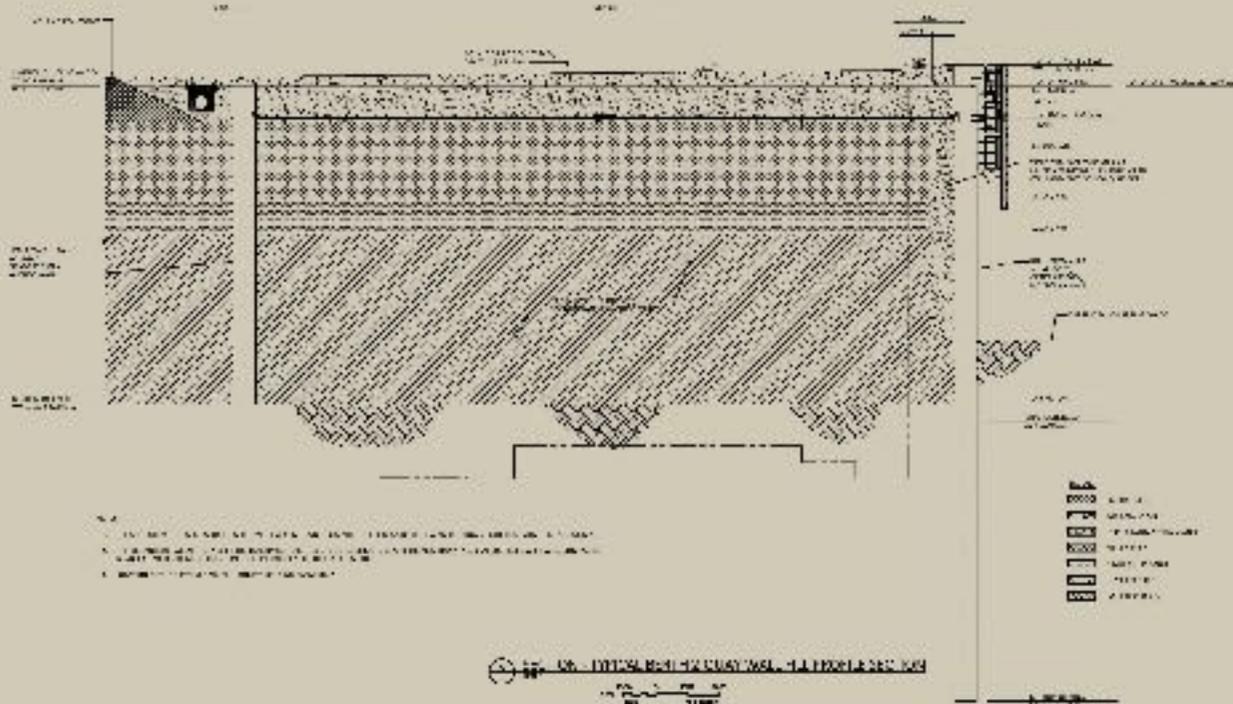
1- Vue générale du chantier en cours.

2- Carte de situation de l'île.

1- General view of the project underway.

2- Location map of the island.

COUPE DE PRINCIPE DU NOUVEAU DISPOSITIF



© SOLETANCHE BACHY

3

formant une petite péninsule au sud de l'île principale. Au deuxième semestre 2014, NE lance un appel d'offre pour la réhabilitation du quai n°2 du port, long de 350 m. Objectif : remplacer la structure existante, qui menace ruine, tout en augmentant sa capacité afin d'accueillir des bateaux de type Panamax (240 m de long, 12,80 m de tirant d'eau), des remorqueurs et des bateaux de service de l'industrie pétrolière. Le maître d'ouvrage prévoit également la création d'une zone de chargement

3- Coupe de principe du nouveau dispositif.
4- Coupe géologique.

3- Schematic cross section of the new scheme.
4- Geological cross section.

lourd, afin de procéder au transfert de plates-formes pétrolières, et le positionnement d'une grue de 250 t pour assurer le déchargement des navires.

LE MARCHÉ INITIAL

Le groupement constitué de Soletanche Bachy Cimas (basée en Colombie) et Soletanche Bachy International est désigné lauréat de l'appel d'offres le 30 décembre 2014, pour un montant total de 48 millions de dollars. Le marché porte initialement uniquement sur

des prestations de travaux, le design du projet ayant été réalisé par Royal Haskoning assurant le rôle de maître d'œuvres pour le compte de NE, le maître d'ouvrage.

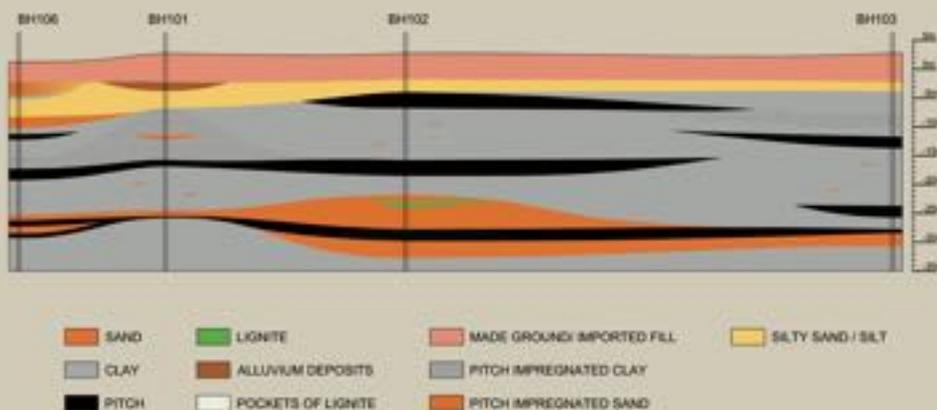
Le principal défi du chantier est la date de livraison de l'ouvrage. Fixée au 22 mai 2017, elle n'admet aucun retard. L'industriel Mitsubishi Heavy Industrie devra en effet pouvoir utiliser le nouveau quai à cette date pour installer des composants de sa future usine de fabrication d'éthanol et de divers condensats de gaz. Le futur quai devra aussi permettre le transport et l'évacuation de la plate-forme pétrolière que l'industriel Tofco doit fabriquer - une fois le quai construit - pour le pétrolier BP sur une zone située 50 m en arrière du quai.

UN ALÉA OBLIGE À RECONCEVOIR LE PROJET

En s'installant fin février 2015 sur le chantier du quai n°2, les équipes travaux de Soletanche Bachy apprennent que Tofco, en contrat avec BP, a commencé la construction de la plate-forme pétrolière.

Le phasage implique la construction du jacket (support de plate-forme) et des modules habitation et production simultanément, ce qui étend considérablement l'emprise au sol de cette opération.

COUPE GÉOLOGIQUE



© CATHE ASSOCIATES

4



5

© SOLETANCHE BACHY

Cet événement imprévu rend impossible la construction du quai telle que prévue dans la conception initiale. Celle-ci prévoyait en effet que la zone de chantier du quai empiéterait sur la zone de chantier de Tofco, qui devait rester inoccupée pendant la période des travaux.

En un mois, le groupement propose une nouvelle conception compatible avec la tenue simultanée des deux chantiers.

CONCEPTION INITIALE

La conception initiale du designer de National Energy, Royal Haskoning, prévoyait la construction d'une structure

constituée de deux murs parallèles distants de 60 m reliés par un lit de tirants d'ancrage.

Le mur de quai, composé d'un rideau mixte alternant pieux tubulaires en acier (diamètre 2000 mm) et palplanches ancrés dans le substratum argileux, est relié au mur d'ancrage, structurellement similaire au mur de quai, par 102 tirants de 60 m de long (diamètre 130 mm), ancrés tous les 3,40 m dans chaque pieux.

Ces tirants sont destinés à équilibrer le moment qui passe dans les profilés en transférant les efforts horizontaux subis par le mur de quai au mur d'ancrage. La position du rideau d'ancrage et la

**5- Lac
d'asphalte.**

**6 & 7- Corrosion
des cellules
existantes.**

5- Asphalt pond.

**6 & 7- Corrosion
of existing units.**

Pour pouvoir réaliser le chantier du quai sans perturber celui de Tofco, il s'agit donc de diminuer la longueur des tirants.

Le bureau d'étude de Soletanche Bachy propose une conception alternative, répondant aux nouvelles contraintes tout en permettant de livrer l'ouvrage dans les temps et de rester dans l'enveloppe financière initiale.

NOUVELLE CONCEPTION DES TIRANTS PLUS COURTS

L'objectif pour les équipes de Soletanche Bachy est de diminuer drastiquement la longueur des tirants pour que la zone de chantier ne fasse plus

longueur des tirants obligent à créer une plate-forme de 70 m de large, qui empiète sur la zone de Tofco, située à 50 m en arrière du quai.



6



7

© SOLETANCHE BACHY



8



9

que 40 m de large et n'empiète plus sur la zone de construction de la plate-forme pétrolière.

Pour cela, il faut optimiser les hypothèses de dimensionnement.

Initialement, les contraintes de séisme avaient été dimensionnées pour un événement d'occurrence 475 ans, amenant à un PGA (peak ground acceleration) de 0,36 g.

En étudiant l'ensemble de la documentation mise à disposition par NE, il a été trouvé qu'une autre valeur avait été proposée par le designer Royal Haskoning, moins conservatrice, puis écartée au moins de la rédaction des pièces de l'appel d'offres. L'alternative consistait à considérer une valeur de PGA de 0,24 g (période de retour 200 ans). Conséquence directe : la longueur des tirants peut être ramenée à 34 m et la plateforme nécessaire à leur mise en

8- Mur de quai et où l'on voit le quai existant DJI 0306.

9- Matériel de battage des pieux et des palplanches.

8- Dock wall and where you can see the existing dock DJI 0306.

9- Pile and sheet piling driving equipment.

place à 40 m. Ainsi, le chantier peut se dérouler sans perturber la construction des modules de plate-forme par l'entrepreneur Tofco.

MURS DE QUAI - RIDEAUX MIXTES

Si la longueur des tirants est largement diminuée, leur nombre, lui, est quasiment doublé : il en faut désormais 183 au lieu de 102 initialement. Le nombre de points d'ancrage des tirants dans les murs doit donc être augmenté dans les mêmes proportions. Les pieux tubulaires de 2 m de diamètre sont remplacés par des profilés en H de 1,08 m de longueur d'âme et de 46 cm de longueur d'ailes (profilés HZM 1080 M-12 A et AZ 18-700). Entre deux profilés vient s'intercaler une palplanche de 1,4 m de développé horizontal, dont la fonction est d'éviter la fuite des matériaux de remblais (figure 3). Les murs de quai et d'ancrage sont reliés par 183 tirants de 34 m de long (diamètre 75 mm), ancrés tous les 2 m dans les profilés.

Le client accepte cette nouvelle conception, mais à condition que les coûts restent contenus dans l'enveloppe financière initiale.

OPTIMISATION DE MATIÈRE

Toute une série d'optimisations permettant de diminuer les quantités de matériaux est alors mise au point.

La première optimisation vient des tirants eux-mêmes. Si la longueur totale de tirants est globalement inchangée entre les deux conceptions (102x60 m contre 183x34 m), leur diamètre a pu être diminué (130 mm contre 75 mm) grâce à l'augmentation du nombre d'unités. Si bien que le volume global d'acier constitutif des tirants a été diminué de 30%.

La seconde source d'optimisation trouve son origine dans la valeur de hauteur de vague prise en référence pour le calcul de l'épaisseur de la poutre de couronnement du mur de quai. Initialement fixée à 1,4 m, cette hauteur est également apparue comme conservatrice vis-à-vis du rapport d'études fourni par NEC pendant la phase de re-conception, et il a été proposé de prendre comme référence une hauteur de vague de 1,2 m, permettant de réaliser une diminution de la section de la poutre de couronnement. Autre source d'optimisation : le système d'ancrage des tirants dans les profilés. Dans la conception initiale, les tirants devaient être fixés dans les pieux tubulaires par l'intermédiaire de platines, elles-mêmes ancrées dans un volume de béton coulé en tête de pieu.

Le remplacement des pieux tubulaires par des profilés en H permet de simplifier le système et de se passer de béton.

La connexion se fait par l'intermédiaire de deux connecteurs en T, nécessitant uniquement de réaliser deux fentes dans l'aile de chaque profilé.

FOCUS SUR LE QUAI EXISTANT

Le quai existant, construit en 2004 par des entreprises locales, a connu une usure prématurée.

Constitué d'une succession de gabions de palplanches auto-stables (stabilité assurée par le frottement du sol sur les palplanches), les causes de sa ruine sont multiples.

Il a premièrement dû subir des cas de charges trop importantes par rapport à son dimensionnement. Ensuite, l'ancrage du rideau n'est pas assez profond (-15 m CD) compte-tenu de la géologie du site (figure 4). ▷



À cette profondeur, on trouve en effet une formation rarissime, constituée de poches d'asphalte naturel et de sables bitumeux, dont certaines remontent parfois à la surface (figure 5).

Ces poches, dont le fluage est très important, migrent dans le temps, et constituent de fait un matériau instable, impropre à l'ancrage des éléments structurels. Le constructeur de l'époque avait probablement sous-estimé le risque de fluage en sous-sol. Enfin, l'usure prématurée du quai est liée à l'absence de protections cathodiques, qui a conduit à la corrosion rapide de l'acier (figures 6 & 7).

LES POINTS CLÉS DU CHANTIER

MUR DE QUAI

Le rideau mixte constitué d'une alternance de palplanches et de pieux profilés en H est construit environ 5 m à l'avant du quai existant (figure 8), qui est laissé en place sur toute la longueur sauf sur la section proche du quai n°1 (voir plus bas).

Les profilés et les palplanches sont respectivement ancrés à -26 m CD et -16 m CD dans une couche d'argile ferme grâce à deux ateliers mobiles constitués de grues sur chenilles de 250 t assurant la manutention des

10- Panneaux préfabriqués.

11- Plate-forme Tofco en cours de chargement.

10- Prefabricated panels.

11- Tofco platform during loading.

outils de battage (guide de battage, marteau et vibrofonneur - figure 9). Le vibrofonneur utilisé est de dernière génération : muni d'une technologie

haute fréquence à moments variables (48 m.kg de moment excentrique), il permet de réduire la transmission de vibrations parasites (pas ou peu résonance) au terrain, évitant ainsi de créer des désordres en sous-sol qui pourraient entraîner le glissement ou la rupture du quai existant laissé en place.

POUTRE DE COURONNEMENT

La poutre de couronnement du mur de quai est réalisée en béton armé. Elle est constituée d'une partie verticale destinée à accueillir les défenses d'accostage du quai, et d'une partie horizontale.



La partie horizontale de la poutre de couronnement (355 m x 1,5 m x 1 m) a été réalisée de manière classique en béton coulé en place (C40/35 PM-ES, 120 kg d'acier/m³).

Le béton est fabriqué dans une centrale située à 200 m du chantier. Étant donné la chaleur tropicale de la zone, où les températures atteignent souvent 36°C, le béton a été travaillé non pas avec de l'eau mais avec de la glace, afin qu'il soit coulé à une température de 24°C. Objectif : limiter les retraits et les risques de réaction sulfatique interne. Trois sondes, installées au cœur, sur la peau et à l'extérieur du béton ont permis de suivre la courbe de températures entre la fabrication et le coulage, à raison d'un enregistrement toutes les cinq minutes.

Pour éviter que l'acier des palplanches et profilés du mur mixte ne soit soumis à la zone de marnage (ce qui entraînerait sa corrosion), la partie verticale, constituée d'une succession de 94 panneaux en béton armé (4 m x 3,9 m x 27 cm) préfabriqués à proximité du chantier (béton C40/35 PM-ES, densité d'acier de 160 kg/m³), est descendue à 1 m sous le niveau de la basse mer.

Le choix du béton préfabriqué a été fait notamment pour faciliter l'installation des inserts de défense d'accostage (figure 10). Une fois les panneaux suspendus aux têtes de pieux, l'espace



12
© SOLETANCHE BACHY

12 & 13- Palonnier avec visualisation des gaines PEHD.

12 & 13- Lifting beam with view of HDPE ducts.

interstitiel compris entre ceux-ci, dont la base comprend un retour formant coffrage perdu, et le rideau mixte, est rempli d'un béton coulé en place. Afin d'éviter d'installer une protection catho-

dique sur l'ouvrage, le bureau d'études de Soletanche Bachy a utilisé pour le dimensionnement le principe de l'épaisseur sacrificielle pour les éléments métalliques et le recours à une poutre de couronnement en béton armé.

DALLE DE CHARGEMENT LOURD

Le marché comprend la réalisation d'une zone de chargement lourd (voir plan du site du chantier, où apparaissent les différentes zones) en béton armé.

Longue de 39 m, large de 29 m et épaisse de 65 cm (densité d'armature de 140 kg/m³), elle doit supporter une surcharge de 150 kPa. Elle est fondée

sur 48 pieux tubulaires de diamètre 1 200 mm et d'une longueur comprise entre 25 et 35 m.

Dans le phasage initial, la dalle de chargement lourd devait être construite une fois la section du mur de quai située au droit de celle-ci réalisée et munie de ses tirants.

Mais le 6 octobre 2015, le bateau qui transportait la cargaison de tirants destinés à cette section du mur de quai sombre à la sortie du port d'Anvers d'où il appareillait, percuté par un méthanier. Cette avarie a des répercussions fortes sur le chantier. Le délai de 9 semaines nécessaire à la fabrication et au transport des nouveaux tirants, pieux et palplanches est en effet bien trop long par rapport aux contraintes du chantier : les deux tiers de la dalle doivent être livrés au client le 8 février 2016 afin que BP puisse procéder au déchargement du module instrumentation (le « cerveau » de la plate-forme) préfabriqué en Europe.

La seconde étape cruciale de ce projet était la livraison de 200 m de quai complet pour le 8 novembre 2016 afin de procéder au chargement sur barge de la plate-forme pétrolière (3 400 t) fabriquée par Tofco/BP (figure 11).

Malgré cet aléa, Soletanche Bachy livrera la dalle dans les temps, en inversant le phasage de construction : il est décidé de couler la dalle avant que les tirants ne soient installés. ▷



© SOLETANCHE BACHY

13



14

© SOLETANCHE BACHY

Pour ce faire, la zone est tout d'abord excavée, puis des buses en PEHD sont positionnées à l'emplacement de futurs tirants. Elles leur serviront de fourreaux une fois qu'ils seront livrés sur site. Une fois ces éléments de réservation positionnés, la dalle est coulée. Après leur livraison sur site, les tirants sont glissés dans les buses en attente par l'intermédiaire d'un palonnier spécialement fabriqué pour l'opération (figures 12 & 13).

DÉMONTAGE DU QUAI EXISTANT

Le quai existant a été laissé en place sur toute sa longueur hormis sur la section située près du quai n°1. Dans cette zone, les palplanches du quai existant sont totalement effondrées, gisant tordues sous l'eau, à plusieurs mètres en avant du quai : en l'état, elles empêchent tout accostage sur le futur quai. Il est donc décidé de les extraire selon un mode opératoire particulier : des plongeurs sont tout d'abord mobilisés pour récupérer les palplanches à 3 m de profondeur, de manière à ce que les parties corrodées soient éliminées. L'extraction totale de la cellule est ensuite réalisée grâce au vibrofonceur « marinisé ».

MESURES ENVIRONNEMENTALES

Plusieurs mesures environnementales ont été mises en place par le groupe lors du chantier.

Pour éviter de polluer le site lors des ruptures de flexibles, il a décidé d'utiliser exclusivement de l'huile hydraulique biodégradable.

Parallèlement, un barrage flottant a été déployé en permanence au droit de la zone de travaux (figure 14) pour contenir les pollutions éventuelles en provenance du chantier, mais aussi et surtout en provenance de l'extérieur : les fuites des nombreuses plateformes pétrolières désaffectées de la zone et les dégazages des navires croisant au large ne sont pas rares.

Le dispositif s'est avéré utile puisque quatre pollutions majeures ont été relevées pendant le chantier.

Enfin, plutôt que d'importer le matériau constituant la couche de forme du terre-plein du quai, le groupement a choisi d'utiliser, en les broyant sur le chantier, des laitiers stockés produits par une ancienne fonderie située à proximité.

14- Barrage flottant.

14- Floating boom.

D'abord réticent, le client a finalement accepté cette solution, qui génère un gain environnemental.

Les ressources naturelles en matériaux étant limitées sur l'île, la majorité des agrégats sont importés du Canada ou des autres îles des Caraïbes. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

350 m de quai
5 500 t d'acier de structure
2 800 m³ de béton au total
500 000 heures travaillées sans accident entraînant un arrêt
150 personnes sur le chantier au pic d'activité

PRINCIPAUX INTERVENANTS

FINANCEMENT :
National Energy Corporation of Trinidad & Tobago
MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE :
National Energy Corporation of Trinidad & Tobago
ENTREPRISES :
Soletanche Bachy Cimas et Soletanche Bachy International

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF A DOCK IN AN OIL PORT IN TRINIDAD AND TOBAGO

ROMUALD DAGRON, SOLETANCHE BACHY

As part of the project for extension of the Port of Brighton, in the Republic of Trinidad and Tobago, Soletanche Bachy is reconstructing dock No. 2. The works required placing a composite screen anchored to a rear screen by means of tie anchors. New planning constraints made it necessary to design a variant project, in order to deliver a large part of the dock necessary for loading an oil platform. □

RECONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN UN PUERTO PETROLERO EN TRINIDAD Y TOBAGO

ROMUALD DAGRON, SOLETANCHE BACHY

En el marco del proyecto de ampliación del puerto de Brighton, en la República de Trinidad y Tobago, Soletanche Bachy ha reconstruido el muelle n°2. La obra ha requerido la colocación de una pantalla mixta anclada a una pantalla posterior mediante tirantes. La aparición de nuevas exigencias de planificación ha precisado el diseño de un proyecto de variante para entregar una parte importante del muelle, necesaria para cargar una plataforma petrolífera. □



1

© SOLETANCHE BACHY

NOUVELLE INFRASTRUCTURE DANS LE PORT D'INGENIERO WHITE, BAHIA BLANCA, ARGENTINE

AUTEUR : ALEXANDRE BEAUVILAIN, PROJECT MANAGER, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

IL S'AGIT DE CONSTRUIRE UNE STRUCTURE, ADAPTÉE AUX CONTRAINTES LOCALES, PERMETTANT LE DÉCHARGEMENT DE COMBUSTIBLES DANS UN ANCIEN PORT DE PÊCHE DEVENU UN PILIER DE L'INDUSTRIE LOCALE. IL COMPORTE LA MISE EN PLACE DE PLUS DE 150 PIEUX ET DE PLUS D'UN KILOMÈTRE DE JETÉE EN BÉTON ARMÉ PRÉFABRIQUÉ, AFIN DE COMPLÉTER LE CIRCUIT DE PIPELINES. L'ENSEMBLE ASSURERA L'APPROVISIONNEMENT D'UNE NOUVELLE CENTRALE THERMIQUE.

PRÉSENTATION

Le port d'Ingeniero White, à proximité de la ville de Bahia Blanca, à 800 km au sud de la capitale Buenos Aires, est actuellement une zone en pleine transformation. Un aménagement du canal de navigation est prévu, qui permettra d'accueillir des super tankers, ouvrant ainsi cet ancien port de pêche à un commerce international important par voie maritime. Cette zone a la particularité d'être l'un des derniers centres industriels importants entre la capitale

1- Vue générale de la jetée et du quai de déchargement.

1- General view of the jetty and the unloading quay.

et les vastes terres de la Patagonie. Dans le cadre de la construction par Siemens de la centrale thermique Guillermo Brown, ce site portuaire a été choisi afin d'assurer l'approvisionnement du combustible, livré par navires de types Aframax et Panamax, permettant à la centrale de produire de l'électricité. Le contrat consiste en la conception/construction, pour le compte de Siemens, d'un ouvrage en jetée et d'un quai de déchargement. C'est le résultat d'une offre innovante

du groupement constitué de Soletanche Bachy International, Soletanche Bachy Argentina, et l'entreprise locale Lavigne Proyectos Integrales. La conception de la structure, ainsi que sa réalisation, sont le fruit d'une collaboration entre des compétences locales et internationales. Le résultat est une jetée en béton armé d'environ un kilomètre de long, aboutissant sur un quai de déchargement, avec la capacité d'accueillir les plus gros supertankers navigant sur le globe (figure 1). ▶



2

© SOLETANCHE BACHY

HISTORIQUE

La zone du port Ingeniero White, ancien port de pêche devenu centre important de transport maritime de grains en provenance de la Pampa vers le reste du monde, a toujours eu un lien important avec la ville de Bahia Blanca, ville la plus au sud de la province de Buenos Aires.

Plus récemment, ce port a accueilli les multinationales des industries pétrochimiques, les transporteurs de conteneurs, ainsi qu'un centre important de la marine militaire argentine. Le port accueille actuellement des navires de taille importante, mais limités à 15 m de tirant d'eau ; ce qui n'est pas suffisant pour accueillir les supertankers de demain.

Les infrastructures ne sont pas non plus suffisantes pour permettre l'importation des hydrocarbures nécessaires à l'industrie locale.

LE PROJET

Siemens SA, dans le cadre de la construction d'une centrale thermoélectrique, a déterminé que l'approvisionnement d'hydrocarbures par voie maritime serait essentiel pour assurer le succès de son projet visant à fournir de l'électricité à toute la région. Le port Ingeniero White a été retenu pour sa proximité de la centrale thermoélectrique, mais aussi pour sa possibilité d'approfondissement qui permettrait aux supertankers de livrer leur précieuse cargaison.

C'est dans ce cadre que le design et la construction d'une jetée intégrée avec un quai de déchargement ont été confiés, par Siemens SA, au groupement mené par Soletanche Bachy.

CONDITIONS GÉOTECHNIQUES

- De 0 à 5 m : sédiments silteux ;
- De 5 à 12 m : argiles compactes, de plasticité moyenne ;
- De 12 à 24 m : argiles très compactes, de forte plasticité ;
- De 24 à 31 m : alluvions compactes sablo-argileuses.

2- Ponton de travail échoué à marée basse.

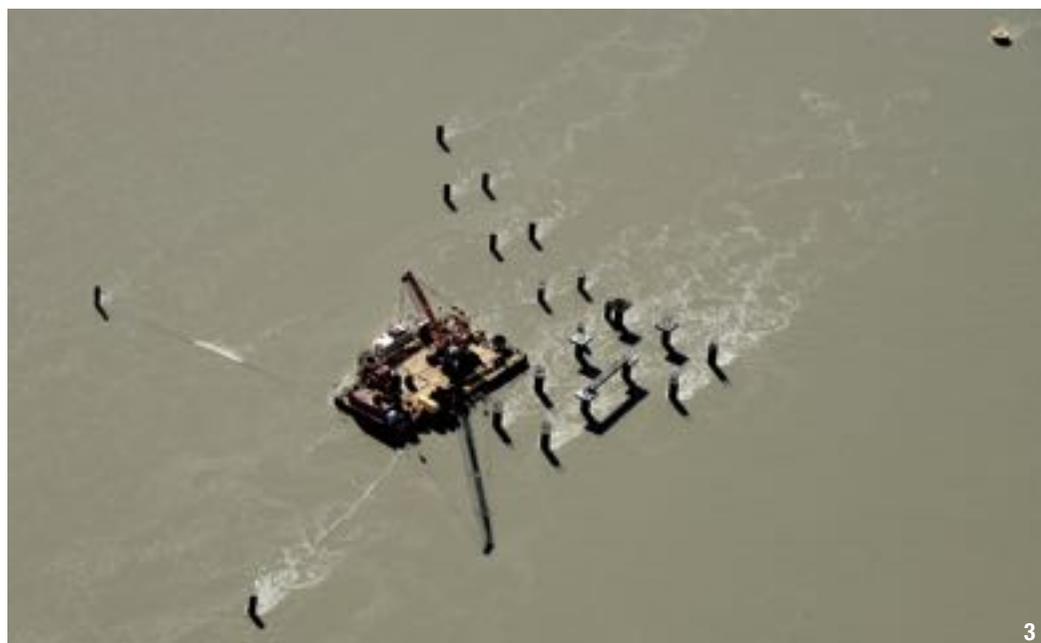
3- Courant visible contre les pieux de la plate-forme de déchargement.

2- Work pontoon beached at low tide.

3- Current visible against the piles of the unloading platform.

CONDITIONS LOCALES : GRANDES MARÉES ET VENTS VIOLENTS

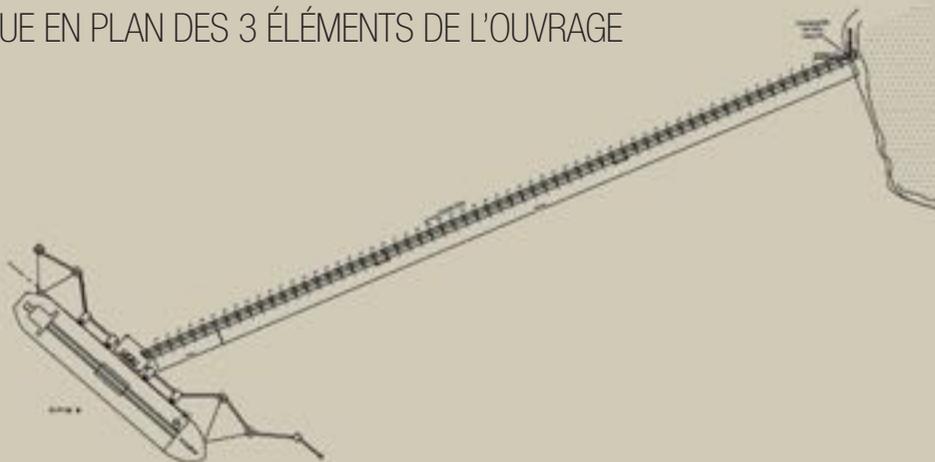
La géologie du site ne nécessite pas de mettre en œuvre des moyens exceptionnels : une solution de fondations consistant en des pieux avec tubes perdus, depuis des moyens nautiques, a rapidement été choisie pour réaliser les pieux de la jetée et ceux du quai de déchargement. Cependant, ce sont les conditions d'intervention en surface qui présentent un défi majeur nécessitant des solutions innovantes.



3

© SOLETANCHE BACHY

VUE EN PLAN DES 3 ÉLÉMENTS DE L'OUVRAGE



4- Vue en plan des 3 éléments de l'ouvrage.

5- Structure de plate-forme de déchargement.

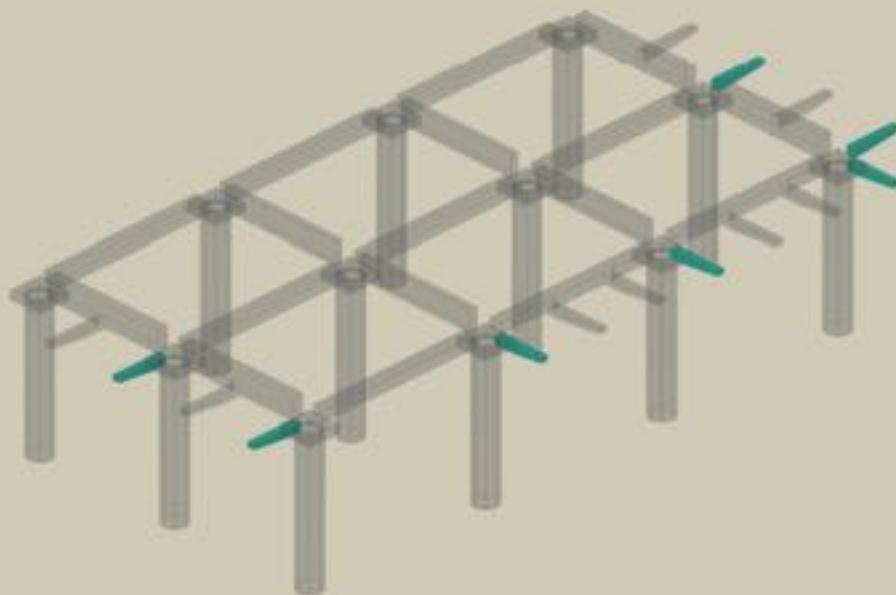
6- Double malaxeur sur catamaran.

4- Plan view of the 3 parts of the project.

5- Unloading platform structure.

6- Double mixer on catamaran.

STRUCTURE DE PLATE-FORME DE DÉCHARGEMENT



LA STRUCTURE : JETÉE ET QUAI DE DÉCHARGEMENT

L'ouvrage se compose de 3 structures principales (figure 4) :

- Jetée d'accès ;
- Plate-forme de déchargement des hydrocarbures ;
- Quai d'accostage.

La jetée d'accès est constituée de 51 travées espacées de 15 m environ. Chaque travée est constituée de 2 ou 3 pieux forés de 1000 mm de diamètre avec tubage perdu.

Les chevêtres en béton armé, constitués d'un « U » préfabriqué, sont ensuite clavés sur les pieux avec du béton coulé en place.

Le quai d'accostage est constitué de 8 ducs d'Albe, 4 étant dédiés à l'accostage et les quatre autres à l'amarrage.

Chaque duc d'Albe est construit sur le principe d'un fond de coffrage en dalles de béton préfabriquées, et de coffrages verticaux constitués par des éléments métalliques avec béton coulé en place. Des passerelles métalliques ont ensuite été installées afin de relier les différentes structures, ainsi que des escaliers d'accès aux bateaux. ▷

L'amplitude de la marée est d'environ 4 m, ce qui met 80 % de la jetée à sec à marée basse (figure 2).

De plus, la bathymétrie est irrégulière avec des zones fortement accidentées. Ces deux caractéristiques se conjuguent, lors du cycle de la marée, pour

créer des courants puissants et parfois surprenants (figure 3), et surtout très problématiques pour les moyens flottants classiques dans les travaux portuaires. Impossible de rectifier cela en draguant un canal dans l'alignement de l'ouvrage, car la zone est aussi un

estuaire naturel protégé. Les conditions climatiques ne favorisent pas non plus la réalisation d'un ouvrage avec des moyens flottants. La zone est en quasi-permanence soumise à des vents forts qui atteignent par moment par moment force 10 sur l'échelle de Beaufort.



6



7
© SOLETANCHE BACHY

**UNE MÉTHODE DE TRAVAIL
INNOVANTE : APPROVISIONNEMENT
EN BÉTON PAR CATAMARAN**

La structure de la jetée, essentiellement linéaire, est réalisée, pour des raisons de logistique, depuis la terre vers le large.

Toutes les méthodes constructives nécessitent l'approvisionnement de matériaux, mais la structure retenue (superstructure en béton armé portée par des pieux forés) dépend surtout de la livraison de béton depuis la centrale à terre.

Une centrale sur plate-forme au large n'était pas envisageable, car incompatible avec les normes environnementales dans la zone : le risque de contaminer l'estuaire avec la pous-

7- Une partie des armatures de la structure d'un duc-d'Albe, préfabriquée à terre.

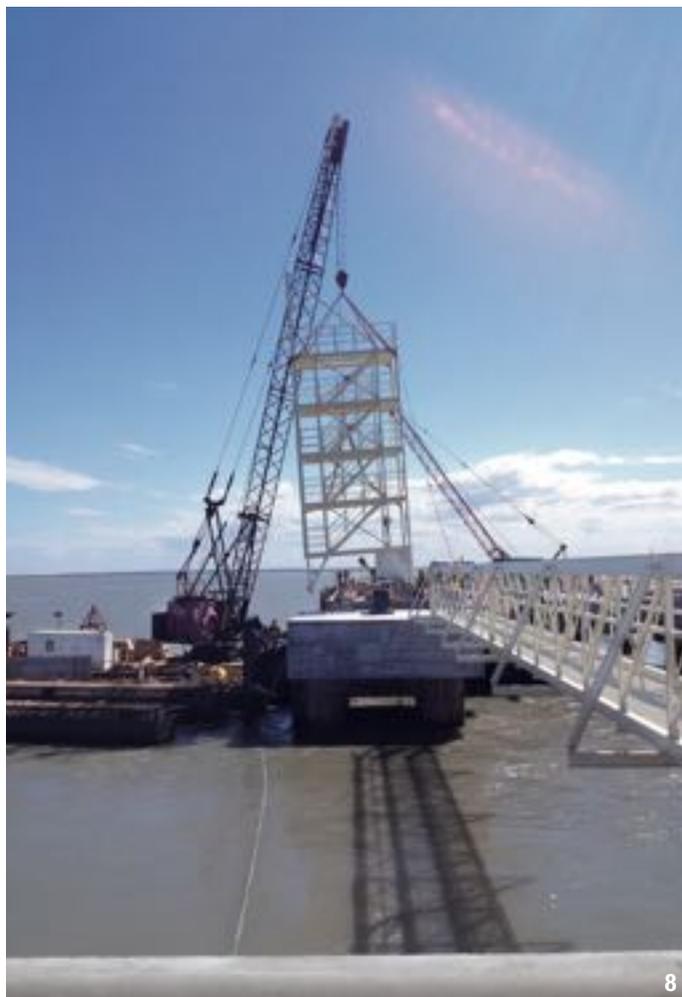
8- Installation de plates-formes pré-montées à terre.

9- Vu du ciel, le quai de déchargement en cours de construction.

7- Part of reinforcement irons for a mooring post, prefabricated onshore.

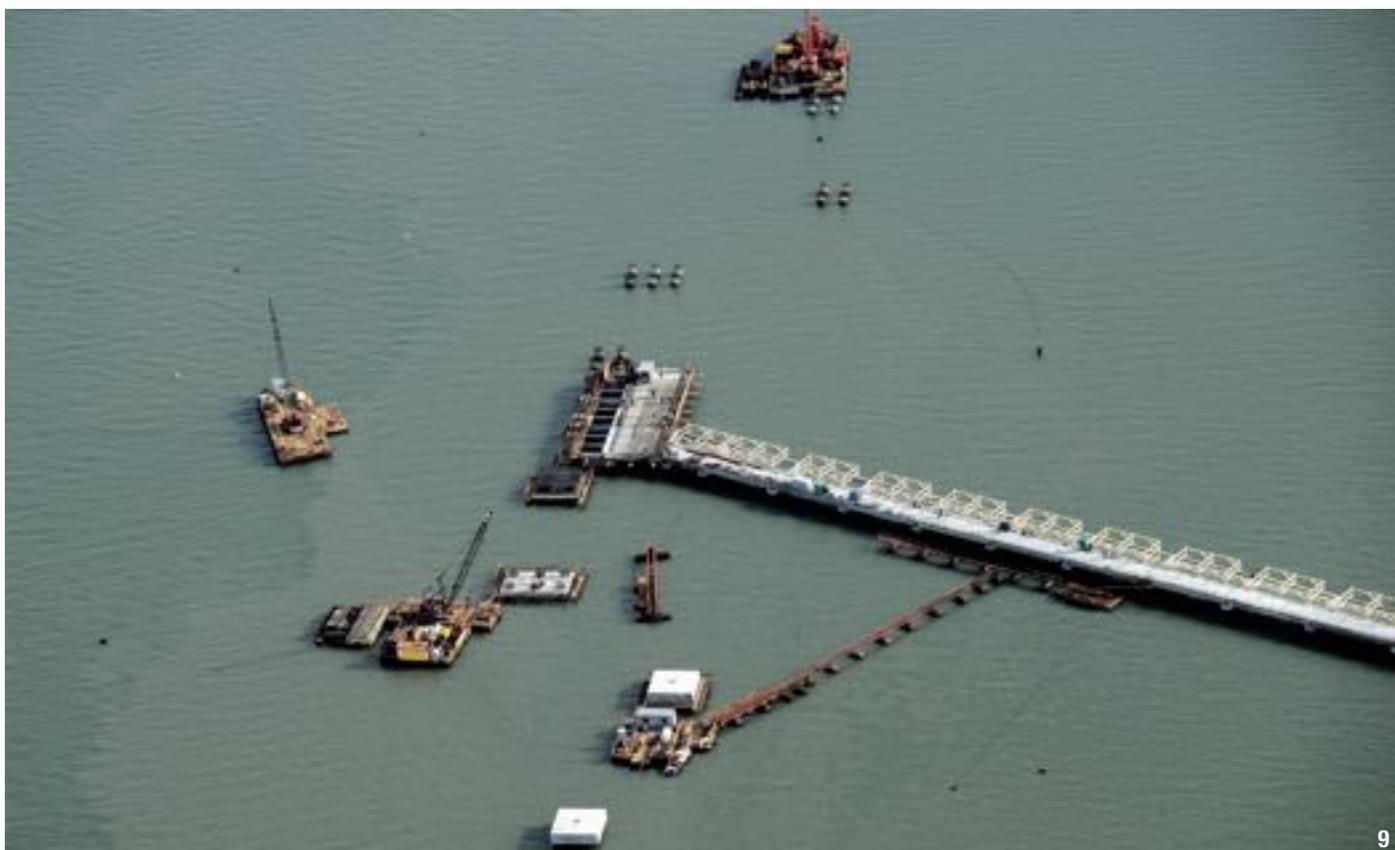
8- Installation of platforms pre-assembled onshore.

9- Aerial view of the unloading quay undergoing construction.



8

© SOLETANCHE BACHY



9

© SOLETANCHE BACHY



© SOLETANCHE BACHY
10

sière de ciment était trop élevé selon le client.

La livraison par camions était impossible, car l'avancement dépendait de la résistance des parties d'ouvrage déjà bétonnées et une telle solution ne permettait pas de respecter le planning contractuel.

La livraison du béton par conduites était possible pour certaines structures, mais les inconvénients de cette méthode ont rapidement été détectés :

- L'amplitude de la marée avait tendance à déboîter les conduites de bétonnage ;
- La température élevée des conduites sous le soleil argentin (35°C) modifiait la plasticité du béton lors du pompage.

La livraison de béton à l'aide de barges, même si elle dépendait fortement des marées, s'est rapidement avérée la meilleure solution.

Il fallait cependant être capable de transporter des quantités importantes de béton.

Le groupement s'est donc lancé dans la conception et la fabrication de catamarans porteurs de deux malaxeurs, afin d'assurer un volume de béton suffisant pour assurer l'approvisionnement des pieux de grand diamètre en continuité pendant un quart de cycle de marée (figure 6).

UNE MÉTHODE CONSTRUCTIVE ADAPTÉE : FAVORISER LES TRAVAUX À TERRE

Comme mentionné auparavant, la zone de Bahia Blanca est soumise à des vents très forts et très fréquents.

10- Vue du ciel, la structure complète.

10- Aerial view of the complete structure.

Ces vents réduisent de manière significative le temps de travail utile et peuvent aussi être source de situations à risques pour le personnel de chantier.

Le design de la structure, ainsi que la méthode constructive, ont évolué au fur et à mesure du déroulement du chantier.

Finalement, la majorité des structures a été préparée à terre, dans de bonnes conditions de travail permettant ainsi aux équipes d'accélérer la production (figures 7 et 8).

DÉROULEMENT DE CHANTIER

Le bon déroulement du chantier (figure 9) a pu se faire sur une période de 12 mois, permettant de travailler pendant les 4 saisons de Bahia Blanca.

Sous le soleil, le vent, la pluie venant de la Pampa, une équipe principalement composée de main d'œuvre locale a su atteindre l'objectif de livrer l'ouvrage (figure 10) dans les temps nécessaires pour le bon fonctionnement de la centrale thermoélectrique située à 17 km du quai de déchargement. □

INTERVENANTS

CLIENT : Siemens S.A.

INGÉNIEUR : Arup

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Soletanche Bachy Argentina / Soletanche Bachy International / Juan M. Lavigne y Cia. S.A.

LES QUANTITÉS PRINCIPALES ASSOCIÉES À CHAQUE STRUCTURE SONT LES SUIVANTES

Structure	Dimension structure	Diamètre pieux	Quantité pieux	Superstructure béton armé
Jetée	778 m	1 000 mm	108 u	3 178 m ³
Plate-forme de déchargement	20 m x 35 m	1 300 mm	12 u	363 m ³
Quai d'accostage (8 ducs-d'Albe)	6 de 6 m x 6 m 2 de 12 m x 6 m	1 600 mm	36 u	1 170 m ³

ABSTRACT

NEW INFRASTRUCTURE IN THE PORT OF INGENIERO WHITE, BAHIA BLANCA, ARGENTINA

ALEXANDRE BEAUVILAIN, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

In the port of Ingeniero White, near Bahia Blanca, a consortium led by Soletanche Bachy is setting up a jetty almost 800 metres long, an unloading platform and docking quays (mooring posts). All the structures are supported on bored-pile foundations with permanent lining tubes, of diameter ranging between 1000 and 1600 mm. The works, carried out using floating pontoons, were severely impacted by tides, currents and fierce winds. □

NUEVA INFRAESTRUCTURA EN EL PUERTO DE INGENIERO WHITE, BAHIA BLANCA, ARGENTINA

ALEXANDRE BEAUVILAIN, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

En el puerto de Ingeniero White, cerca de Bahia Blanca, un consorcio liderado por Soletanche Bachy está construyendo un espigón de unos 800 m de longitud, una plataforma de descarga y muelles de atraque (duques de Alba). El conjunto se sustenta sobre pilotes perforados con revestimiento perdido, de un diámetro comprendido entre 1.000 y 1.600 mm. Las obras, realizadas mediante puentes flotantes, se han visto considerablemente afectadas por las mareas, las corrientes y la violencia del viento. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES OUVRAGES DE NAVIGATION DE LA CHUTE DE DONZÈRE-MONDRAGON SUR LE RHÔNE

PAR P. DELATTRE, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE
TRAVAUX N°211 - MAI 1952

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTF

Au sortir de la deuxième guerre mondiale, et dès le mois de juillet 1944, le gouvernement français demande à la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) de réaliser un aménagement hydroélectrique sur le Rhône pour fournir l'énergie nécessaire à la reconstruction du pays. Ce projet sera financé en partie par le Plan Marshall.

L'aménagement de Donzère-Mondragon est situé sur le Bas-Rhône entre Valence et Avignon, entre les confluents de l'Isère et de l'Ardèche. On a là ce qu'on appelle « le robinet de Donzère », une des plus belles chutes de ce fleuve, de 0,8 m par km. Il a été réalisé entre 1948 et 1952.

Le barrage hydroélectrique est à Bollène dans le Vaucluse et porte le nom d'André Blondel. D'une architecture remarquable due à l'architecte Théodore Sardnal, il a été classé monument historique en 1992.

Le canal de dérivation a une longueur de 28 km : 17 km de canal d'amenée, 11 km de canal de fuite. Le barrage exploite une chute de 22,50 m. Il est équipé de 6 roues Kaplan à pales orientables, développant 354 MW et produisant 2 milliards de kWh par an. L'écluse de 26 m de haut est à l'époque la plus haute du monde. Le canal est franchi par 9 grands ponts, dont certains remarquables.

L'ouvrage hydraulique a un triple rôle de production d'énergie, de navigation et d'irrigation, illustrant les trois missions de la CNR.

Le chantier est gigantesque, employant pendant cinq ans jusqu'à 7 000 hommes.

On travaille 54 heures par semaine. Des cités sont construites, qui deviennent de véritables villes. Des dragues hollandaises creusent le canal. Des engins américains tels que dumpers, scrapers, bulldozers sont à l'œuvre.

On a parlé à l'époque du plus grand chantier, de la plus grande écluse, de la centrale la plus productive d'Europe, et même de « Suez français » !



ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE NAVIGATION STRUCTURES OF THE DONZERE-MONDRAGON WATERFALL ON THE RHONE

TRAVAUX N°211 - MAY 1952

P. DELATTRE

Toward the end of the Second World War, as early as July 1944, the French government asked Compagnie Nationale du Rhône (CNR) to carry out a hydroelectric development project on the Rhône River to provide the power needed for the country's reconstruction. This project would be partly financed by the Marshall Plan. The Donzère-Mondragon scheme is located on the Lower Rhône between Valence and Avignon, between the confluences of the Isère and Ardèche rivers. There is what is called the "robinet de Donzère" (Donzère tap), one of the finest water heads on this river, 0.8 m per km. It was constructed between 1948 and 1952. The hydropower dam, at Bollène in the Vaucluse region, is called the André Blondel dam. With a remarkable architecture due to the architect Théodore Sardnal, it was listed as an historical monument in 1992. The diversion channel is 28 km long: 17 km of headrace channel and 11 km of outlet channel. The dam exploits a water head of 22.50 m. It is equipped with six adjustable-blade Kaplan turbines, developing 354 MW and producing 2 billion kWh per year. The lock, 26 m high, was the highest in the world at that time. The channel is crossed by nine large bridges, some of which are remarkable. The hydraulic structure has a threefold role of power production, navigation and irrigation, illustrating the three missions of the CNR. The project was gigantic, employing up to 7,000 men for a period of five years. They worked 54 hours a week. Living facilities were built, which became real cities. Dutch dredgers dug the channel. American machines such as dumpers, scrapers and bulldozers worked on the project. At the time it was called the biggest project, the largest lock, the most productive power station in Europe, and even the "French Suez"! □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LAS OBRAS DE NAVEGACIÓN DE LA PRESA DE DONZERE-MONDRAGON SOBRE EL RÓDANO

TRAVAUX N°211 - MAYO DE 1952

P. DELATTRE

Al término de la Segunda Guerra Mundial, y a partir de julio de 1944, el gobierno francés encargó a la empresa Compagnie Nationale du Rhône (CNR) la construcción de una central hidroeléctrica sobre el Ródano capaz de generar la energía necesaria para la reconstrucción del país. Este proyecto fue en parte financiado por el Plan Marshall. La presa de Donzère-Mondragon está situada en el bajo Ródano, entre Valence y Aviñón, entre las confluencias de los ríos Isère y Ardèche. Allí se encuentra el llamado "robinet de Donzère" (el grifo de Donzère), uno de los saltos más bonitos de este río, de 0,8 m por km. Fue construida entre 1948 y 1952. La central hidroeléctrica está ubicada en Bollène, en el departamento de Vaucluse, y lleva el nombre de André Blondel. Con un excepcional diseño, obra del arquitecto Théodore Sardnal, en 1992 fue catalogada como monumento histórico. El canal de derivación tiene una longitud de 28 km: 17 km de canal de conducción y 11 km de canal de fuga. La presa explota una caída de 22,50 m. Dispone de 6 ruedas Kaplan con palas orientables, que desarrollan 354 MW y producen 2.000 millones de kWh al año. Cuando fue construida, la esclusa de 26 m de altura era la más alta del mundo. Nueve grandes puentes, algunos de ellos excepcionales, cruzan el canal. La instalación hidráulica desempeña una triple función de producción de energía, navegación y riego, que ilustran las tres actividades de CNR. La obra era gigantesca y en ella participaron hasta 7.000 hombres, que trabajaban 54 horas por semana. Para alojarlos se construyeron poblados, que acabaron convirtiéndose en verdaderas ciudades. El canal fue perforado por dragas holandesas y se empleó maquinaria americana como dumpers, scrapers o bulldozers. A la sazón se hablaba de la mayor obra, la mayor esclusa, de la central más productiva de Europa, ¡e incluso del "Suez francés"! □

Les ouvrages de navigation de la chute de Donzère-Mondragon sur le Rhône

L'écluse de Saint-Pierre

Par P. DELATTRE

Directeur général de la Compagnie Nationale du Rhône,

A L'AVAL de Lyon, les plus belles chutes du Bas-Rhône se situent entre les confluent de l'Isère et de l'Ardèche, où les pentes du fleuve sont particulièrement fortes (70 à 80 cm : km) alors que ses débits sont déjà voisins de ceux de l'embouchure (1 600 m³ : s en moyenne).

Dans cette section, la vallée présente plusieurs épanouissements successifs qui permettent la construction de quatre longues dérivations et l'aménagement de quatre chutes de 11 à 25 m de hauteur. La plus importante de ces chutes, celle de Donzère-Mondragon, est en cours d'achèvement.

Cette œuvre grandiose intéresse les trois aspects de l'activité de la Compagnie Nationale du Rhône : navigation, force motrice, irrigation. Dans la présente note, nous nous proposons de décrire les ouvrages de la chute de Donzère-Mondragon qui concernent plus particulièrement la navigation, et notamment la grande écluse de Saint-Pierre de 26 m de hauteur de chute maximum.

RAPPEL DES CARACTERISTIQUES GENERALES DE L'AMENAGEMENT (fig. 1).

La prise d'eau est située à la sortie du robinet de Donzère. La restitution se fait à 10 km en aval du confluent de l'Ardèche, dans le coude situé entre les villages de Mondragon et de Mornas. Le canal de dérivation, de 28 km de longueur, se développe à travers la plaine du Tricastin et court-circuite 31 km de fleuve. Au cours des plus bas étiages, la chute atteint 26 m entre le niveau normal de la retenue fixé à la cote (58,00) N.G.F. et le niveau naturel du fleuve à la restitution (32 m N.G.F.). La chute moyenne est de 22 m.

La prise d'eau comprend le barrage de retenue sur le Rhône qui produit un relèvement du plan d'eau de 5 m sur l'étiage, dont le remous se fait sentir sur 10 km environ, et les deux entrées usinière et navigable avec leurs barrages de garde.

Le canal d'aménée, de 17 km de longueur, dans lequel le plan d'eau varie de la cote (58,00) à l'amont à la cote (57,00) près de l'usine, est bordé de digues; cependant, son tracé a été choisi de manière qu'il soit toujours en partie creusé dans le terrain naturel. Le canal de fuite, de 11 km de longueur, est profondément enfoncé dans le sol; il communique librement avec le Rhône à Mondragon; le plan d'eau varie dans ce canal entre les cotes (32,00) et (40,00) suivant le débit du fleuve.

La largeur du canal d'aménée est de 145 m au plan d'eau; la profondeur d'eau y est de 10 m. Le canal de fuite a une largeur de 125 m minimum; la hauteur d'eau y varie

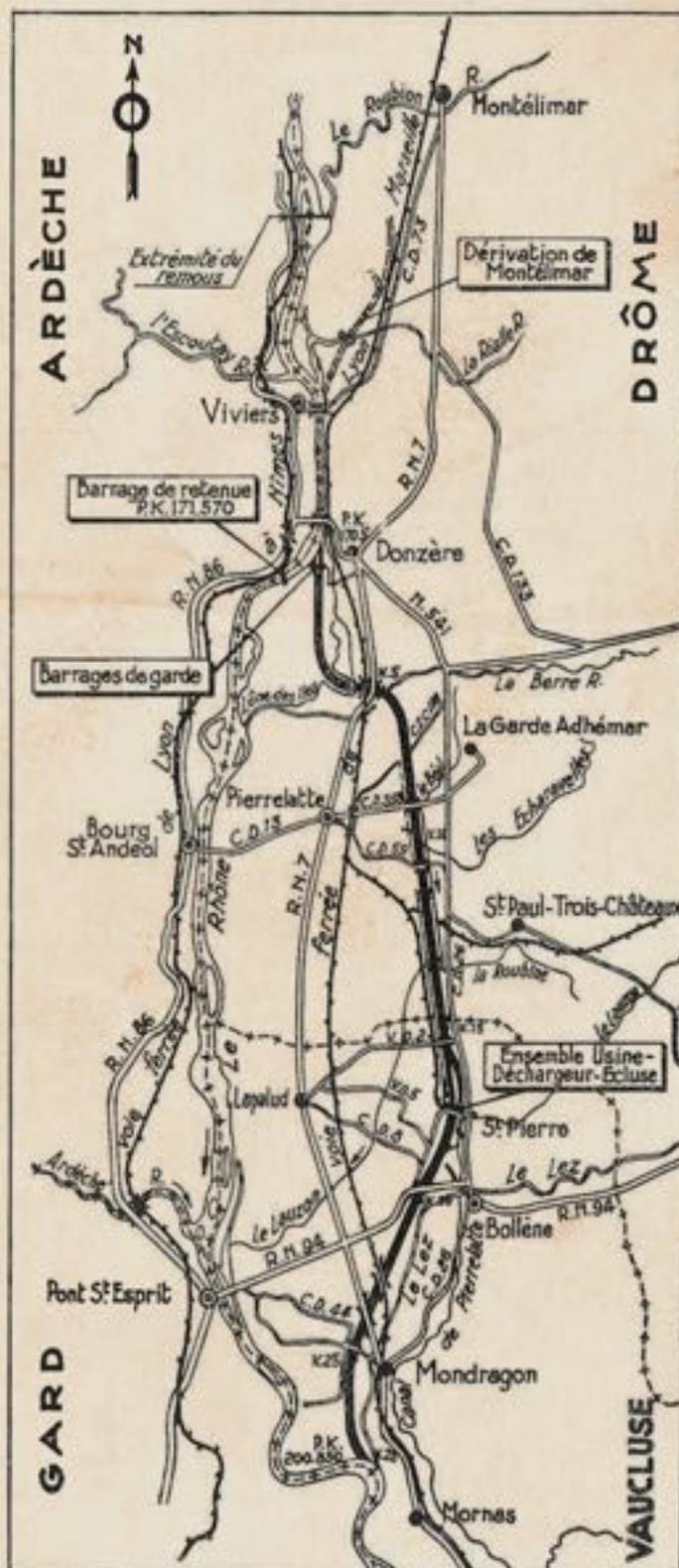


Fig. 1. — Plan d'ensemble des ouvrages.

entre 12 et 18 m. La vitesse moyenne de l'eau dans la dérivation est au maximum de 1,30 m dans le canal d'aménée et de 1,50 m dans le canal de fuite. Ces vitesses sont très favorables à la navigation. Le débit maximum dérivé est de 1 530 m³ : s. Les canaux ne sont pas revêtus, sauf sur la hauteur des berges qui est soumise à l'action des hélices (fig. 3).

Le bloc usine, déchargeur, écluse forme barrage entre le canal d'aménée et le canal de fuite. Cet ensemble, situé près de Bollène, présente un front de 340 m de longueur, y compris le bâtiment d'appareillage ; il a été implanté de manière à être fondé dans un banc de grès. Les fondations des turbines sont descendues jusqu'à la cote 15, à 25 m dans le rocher et à 43 m sous le sol naturel. L'armement de l'usine comprend six alternateurs de 50 000 kW mus par des turbines à pales orientables de 70 000 ch, tournant à 107 t : mn et absorbant chacune 255 m³ : s. La production moyenne de l'usine sera de 2 milliards de kWh par an ; près de 50 p. 100 de cette énergie sera produite en hiver.

OUVRAGES INTERESSANT LA NAVIGATION

A. Barrage de retenue.

La prise d'eau étant située dans la concavité d'une courbe à petit rayon, il était indiqué d'implanter le barrage à l'inflexion qui suit. Les convois disposent ainsi, entre la prise et le barrage, d'un bassin d'un kilomètre de longueur, propre à toutes les évolutions (fig. 2).

Le barrage comprend six passes toutes fermées par des vannes secteurs de 9,15 m de hauteur. Ces passes ont une largeur libre de 31,50 m ; toutefois, la largeur de la passe de rive gauche, où le lit présente les plus grandes profondeurs, a été portée à 45 m afin de permettre exceptionnellement en exploitation le passage à travers le barrage, préalablement ouvert, des grands remorqueurs à aubes dont la largeur excède celle de l'écluse. Dans ces conditions, il était tout indiqué d'utiliser cette passe pour le passage de la navigation pendant l'achèvement des travaux du barrage.

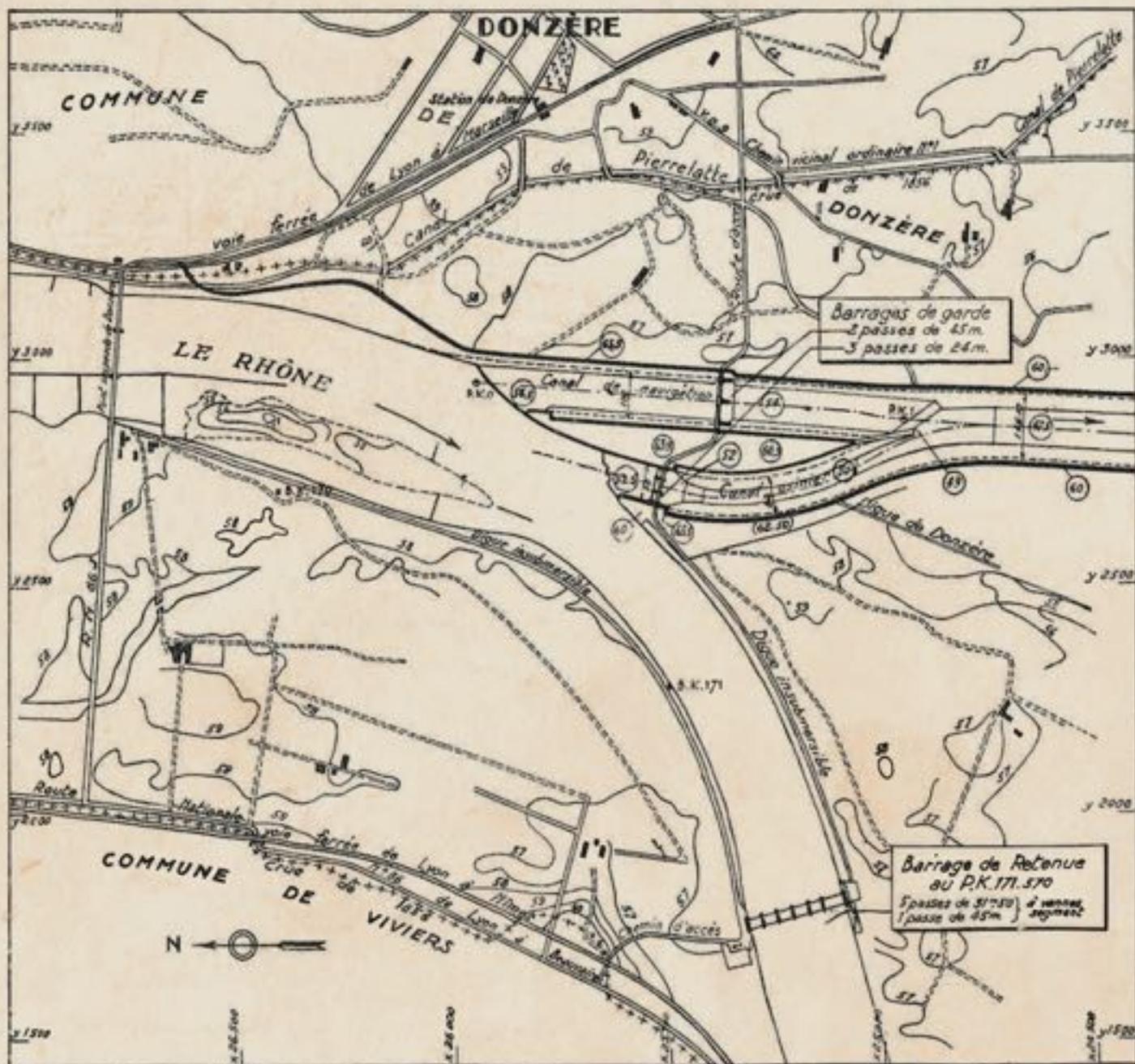


Fig. 2. — Plan de l'origine de la dérivation.

Fig. 3. — Vue aérienne du canal presque achevé. Une des 5 grandes dragues en fonctionnement.

(Photo J. Cellard.)



Fig. 4. Barrage de retenus. Elevation vue d'aval.

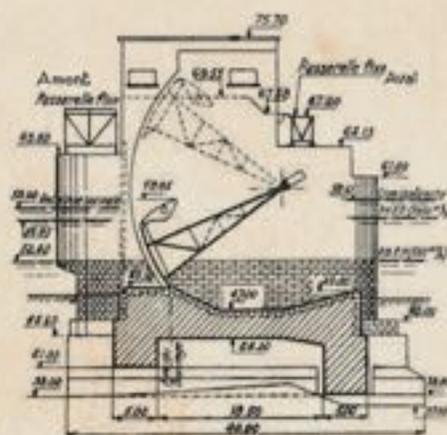
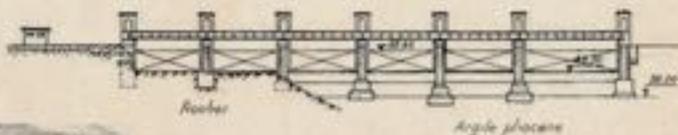


Fig. 5. — Barrage de retenus. Coupe transversale d'une passe.

Fig. 6. — Vue aérienne du barrage de retenus.

(Photo J. Cellard.)

Cette passe a donc été construite de manière à répondre aux conditions suivantes pour tous les débits compris entre l'étiage conventionnel ($560 \text{ m}^3/\text{s}$) et les plus hautes eaux navigables ($3\,950 \text{ m}^3/\text{s}$) : mouillage de 1,60 m au moins ; tirant d'air de 7 m ; vitesse du courant admissible pour les bateaux (fig. 4 et 5).

La passe navigable est fermée par une vanne segment munie d'un volet supérieur de 1,75 m de hauteur. Les dimensions de cette vanne : $45 \text{ m} \times 9,15 \text{ m}$ en font un ouvrage tout à fait exceptionnel. La vanne et le volet sont mus chacun par deux treuils électriques situés dans les piles, et dont la force unitaire est de 250 t pour la vanne (corps inférieur) et de 100 t pour le volet ; ces treuils, actionnés par des moteurs de 30 ch, sont synchronisés électriquement au moyen d'un moteur spécial de synchronisation de 9 ch.

Ce barrage qui laisse passer, sans surélévation dangereuse du plan d'eau, des

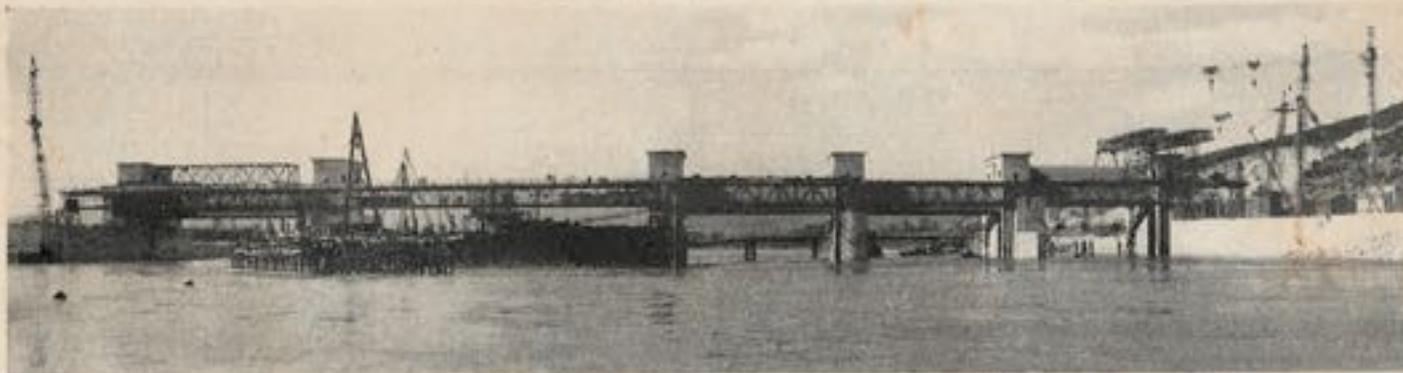
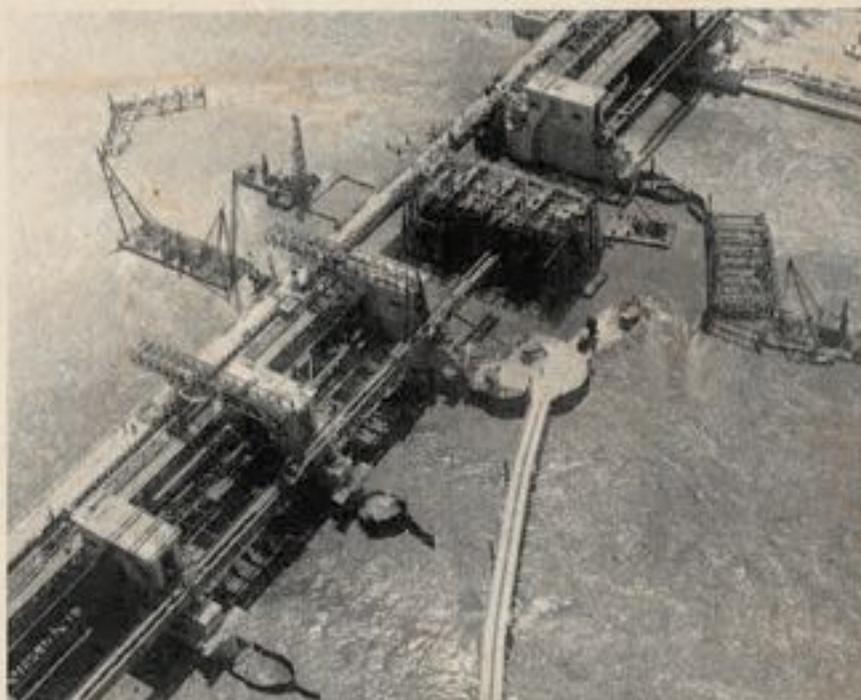


Fig. 7. — Vue générale amont du barrage de retenus.

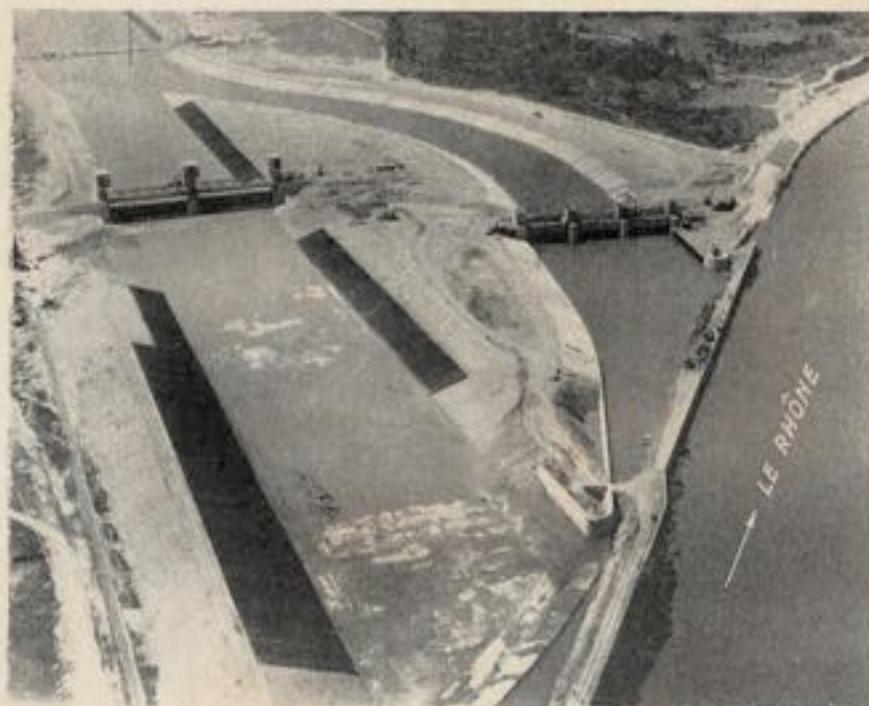


Fig. 8. — Vue aérienne des ouvrages d'entrées.
À gauche : l'entrée navigable ; à droite : l'entrée usinière.

(Photo J. Cellard.)

crues de 12 000 m³ : s (crues de 10 000 ans) est complété sur la rive droite par des rampes permettant le passage, d'un bief à l'autre, des embarcations de tourisme (fig. 6 et 7).

B. Entrée de la dérivation.

Barrages de garde.

Les ouvrages de l'entrée devaient répondre aux conditions suivantes : présenter une passe de 100 m de largeur minimum permettant le passage facile des bateaux ; assurer l'entonnement de 1 530 m³ : s sans perte de charge excessive ; empêcher l'entrée dans la dérivation du débit solide roulé qui atteint à Donzère plusieurs centaines de milliers de m³ par an.

Ce problème complexe et difficile a été étudié d'abord dans le laboratoire d'hydraulique que la Compagnie possède à Lyon, puis sur un grand modèle à l'échelle du 1/60 dans un laboratoire spécialisé. Ces études, parfaitement concordantes, ont montré qu'une entrée unique de 100 m de largeur, acceptable pour la navigation, avait tendance à s'engraver quel que soit son aménagement. C'est pourquoi il a été décidé de scinder l'entrée en deux passes :

— Une passe navigable à seuil haut, cote (54,50) et large, prolongeant l'alignement amont du chenal navigable ; le tiers du débit s'entonne par cette passe :

— une passe usinière à seuil bas (52,50) et étroite, située en pleine concavité, qui reçoit les deux tiers du débit. L'ensemble formé par les deux seuils et les deux musoirs qui encadrent la passe usinière, provoque la formation, le long de chaque seuil, d'un rouleau d'eau qui emmène les matériaux solides vers la rive droite du fleuve et vers l'aval ; le tourbillon à axe horizontal de l'entrée usinière est particulièrement actif.

Ces deux passes se réunissent en un canal unique à 1 km de l'entrée (fig. 2 et 8). Le niveau de la retenue étant à 4 m au-dessous des plus grandes crues, il était nécessaire de prévoir sur ces entrées des ouvrages de garde (1). Le barrage de la passe navigable comporte deux vannes segments de 45 m de portée et de 7 m de hauteur. Ces vannes sont analogues à la grande vanne du barrage de retenue, mais plus simples (fig. 8 et 9).

C. Les ponts.

Le canal de dérivation est franchi par neuf grands ponts dont deux ponts sous voie ferrée. En raison des besoins de la navigation, ces ponts comprennent au moins, soit deux travées de 45 m d'ouverture libre, soit une travée centrale de 60 m d'ouverture droite. Les passes navigables doivent présenter un tirant d'air de 7 m au moins au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables. On trouve ainsi :

Sur le canal d'aménée :

— deux ponts comprenant quatre travées de 45 m d'ouverture libre, livrant passage, l'un à la route nationale n° 7 (pont en béton armé constitué par des poutres cais-

(1) Un ouvrage unique placé en aval de la jonction des deux passes aurait nécessité des vannes énormes en raison des besoins de la navigation et de la profondeur du canal ; cet ouvrage unique a été plus intéressant que les deux barrages qui ont été construits.



Fig. 9. — Barrage de garde navigable vu de l'aval.
Les deux vannes sont levées.



Fig. 10. — Pont-route et pont-rail franchissant le canal d'aménée.

L'ECLUSE

Par sa hauteur de chute qui peut atteindre 26 m, l'écluse de Saint-Pierre est une des plus importantes du monde. Quoiqu'on ne se soit jamais départi d'un souci de stricte économie, nous croyons que certaines des dispositions adoptées sont en progrès par rapport à celles des ouvrages antérieurs, ce qui justifie une description un peu détaillée de cet équipement.



Fig. 11. — Pont de C. D. 58 sur le canal d'aménée.

sons de faible hauteur), le second à la voie ferrée Lyon-Marseille (pont métallique à large triangulation, sans contreventement supérieur). Ces deux ponts, fondés sur la marne argileuse, sont à poutres continues ;

— deux ponts suspendus et un pont à haubans sous des chemins vicinaux et départementaux.

Sur le canal de fuite :

— deux ponts biais à 45° dont les longueurs totales comptées entre culées sont respectivement de 243 m et de 260 m, et qui présentent des travées centrales de 110 m de portée (pont métallique du chemin de fer, à triangulation multiple et contreventement supérieur) et de 114 m (pont cantilever en béton armé de la R.N. 7 à poutres caissons) ;

— deux ponts suspendus sous la R.N. 04 et sous un chemin départemental, ayant environ 195 m de longueur totale entre culées avec une travée centrale de 114 m.

D. Le déchargeur.

Les variations rapides du régime de marche de l'usine donnent naissance à des ondes qui se propagent dans le canal, puis dans le Rhône. Dans le fleuve, à l'aval de la restitution, les ondes négatives peuvent être dangereuses pour la navigation.

Le barrage de retenue ne permet pas de pallier ces variations brusques de débit, car il faut environ trois heures pour que le flot, produit dans le Rhône par l'ouverture du barrage de retenue, atteigne le confluent du canal de fuite.

La Compagnie a estimé que la meilleure manière de résoudre ce problème sans allonger les délais de construction est de construire un barrage accolé à l'usine, comportant six vannes de fond du type segment (une par groupe) plus deux clapets de surface de 5,20 m x 5 m pour l'évacuation des corps flottants (fig. 14). Ce barrage, de 45 m de hauteur totale, est fondé à la cote (15,00). Les vannes de fond, dont le seuil est à 18 m sous le plan d'eau maximum, dégagent des orifices de 5,20 m de largeur et 4 m de hauteur. Le déchargeur ainsi constitué est susceptible de fournir un débit total de 1 800 m³ : s. Il permet de produire dans le canal de fuite des ondes positives qui rattrapent et étouffent les ondes négatives qui sont ainsi suffisamment amorties avant d'atteindre le fleuve.

La dissipation de l'énergie de l'eau débitée par le déchargeur a été étudiée sur modèle réduit ; elle est obtenue par des dents blindées faisant saillie sur le radier et munies d'arrivées d'air destinées à éviter les cavitations ; ce dispositif sera complété par des enrochements placés à l'extrémité du radier du déchargeur.

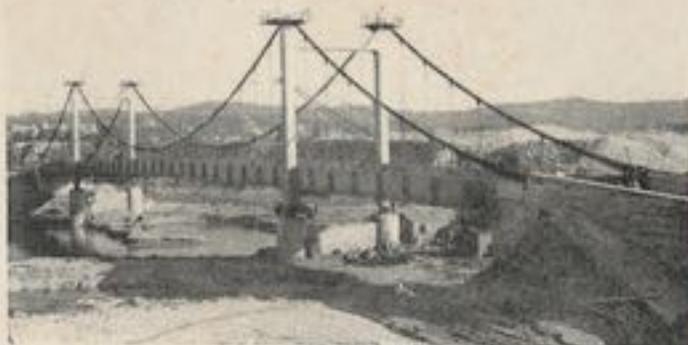


Fig. 12. — Pont de la R. N. 04 sur le canal de fuite.



Fig. 13. — Pont de la R. N. 7 sur le canal de fuite en cours d'achèvement.

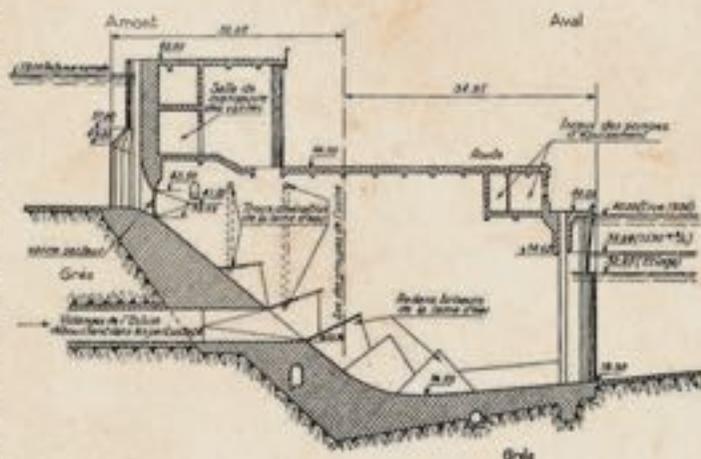


Fig. 14. — Déchargeur. Coupe transversale.

Dimensions et implantation.

Les dimensions à donner au sas en plan ont fait l'objet de longues discussions. Pour en décider, il convenait de tenir compte, d'une part de la navigation existante, qui est assez spéciale, et du matériel de navigation actuellement en service sur le Rhône ; d'autre part des perspectives futures de cette navigation et des modifications qui seront apportées au parc fluvial du Rhône, en fonction des progrès réalisés dans la construction du matériel nautique, et aussi en vue de l'adapter aux nouvelles conditions de navigation qui sont une conséquence de l'aménagement du fleuve par notre Compagnie.

Nous rappelons que le matériel de navigation actuellement en service sur le Rhône comprend principalement :

- des barques de 74 m x 8 m x 2 m ;
- des remorqueurs à aubes de 16 à 20 m de largeur hors tout qui remorquent deux ou trois barques ;
- un remorqueur moderne à quatre hélices sous voûte de 2 200 ch : le *Frédéric-Mistral* Rhône-Rhin mis en service provisoirement sur le Rhône par notre Compagnie en vue de montrer sa bonne adaptation au fleuve. Ce remorqueur peut tirer quatre barques (fig. 13) ;
- un parc d'automoteurs de dimensions un peu inférieures à celles des barques.

Enfin, certaines compagnies de navigation sont en train de mettre en service actuellement des automoteurs remor-



FIG. 15. — Le « Frédéric-Mistral » en action près de Post-Saint-Esprit.

queurs de 500 ch susceptibles de tirer une barque et un remorqueur à hélices de 1 200-1 400 ch.

L'Administration a fixé les dimensions du sas à 105 m x 12 m. Ces dimensions ne permettent pas le passage des remorqueurs à aubes. En revanche, l'écluse est accessible au remorqueur *Frédéric-Mistral*. Elle peut écluser en une fois des convois constitués par un automoteur remorqueur et une barque, ou encore par deux barques et un remorqueur moyen du genre du nouveau remorqueur de 1 200 ch dont nous venons de parler. Ces deux genres de matériel, automoteur remorqueur et remorqueur de puissance et de dimensions moyennes, paraissent bien adaptés, soit dit en passant, aux futures conditions de navigation. En outre, les dimensions données à l'écluse permettront de substituer ultérieurement aux barques des chalands du type dit « international » de 88 m x 11 m x 2 m. Il faut enfin noter que la solution de l'écluse unique, qui a été adoptée malgré la très grande hauteur de chute, est celle qui réduit le plus possible le temps nécessaire au franchissement de cette chute, condition favorable au développement de la navigation.

Le bloc usine-écluse a été implanté sur un éperon rocheux dans lequel ces ouvrages sont fondés (fig. 16). Il en résulte que l'écluse se trouve placée dans une courbe du canal de 1 200 m de rayon, et du côté extérieur de cette courbe. L'écluse n'est ainsi séparée du village de Saint-Pierre (hameau de la commune de Bollène) qui lui a donné son nom, que par un terre-plein de 40 m de largeur réservé pour la construction éventuelle d'une écluse de doublement. Sans doute aurait-on pu trouver préférable de placer l'écluse à

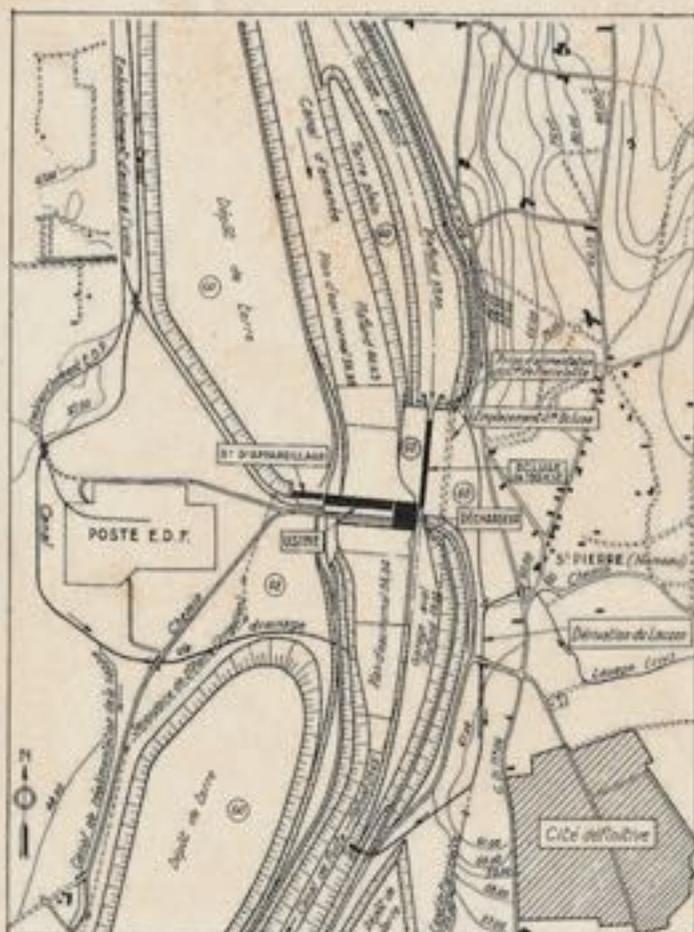


Fig. 16. — Plan aux abords de l'usine.

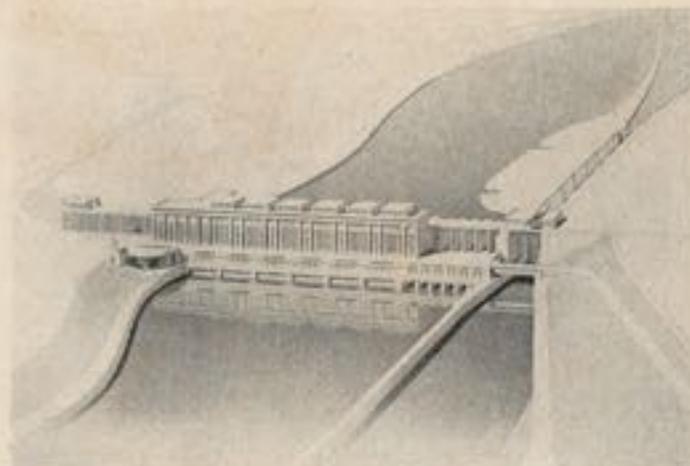


Fig. 17. — Vue de l'ensemble « Usine-Déchargeur-Ecluse » d'après une maquette.



Fig. 16. — Etat d'avancement, en octobre 1951, du chantier de l'usine, du déchargeur et de l'écluse (tête aval).

l'intérieur de la courbe ; c'était impossible en raison des dimensions très réduites de ce lobe rocheux et de sa forme : le bâtiment d'appareillage qui prolonge l'usine vers l'ouest (côté intérieur de la courbe) n'est déjà plus fondé sur le rocher, mais bien dans le gravier. Au surplus, grâce aux dispositions données aux garages amont et aval et aux embecquetages, cette implantation, assez exceptionnelle, ne présente aucun inconvénient. Le garage amont a 1 350 m × 120 m (au plan d'eau) ; une langue de terre le sépare de l'extrémité du canal d'aménée. Le garage aval, de 600 m de longueur, est isolé de la zone d'action du déchargeur par un mur guideau de 220 m (fig. 17 et 18).

Les dispositions d'ensemble de ces bassins ont été étudiées sur modèle réduit, de façon à éviter la formation de courants latéraux à leur entrée ou à leur sortie, et de manière aussi que les courants ou les ondes provenant de l'usine ou du déchargeur ne gênent pas les bateaux.

Les convois tirés par des remorqueurs larges se formeront ou se disloqueront dans ces garages où l'on trouve des

ducs d'albe et des bollards espacés de 40 à 50 m. Le mouillage y dépasse généralement 3 m.

Dispositions constructives.

Le terrain naturel est formé d'alluvions grossières reposant sur un grès tendre qui culmine entre les cotes (45,50) et (47,50). Les bajoyers qui ont 31,50 m de hauteur totale sont appuyés contre ce rocher sur une hauteur de 17 à 10 m. Au-dessus, ils supportent la poussée de la couche d'alluvions de surface, dont l'épaisseur varie de 12,50 m à 14,50 m. Deux galeries de drainage de 2 m de diamètre règnent aux cotes (37,00) et (46,00) sur toute la longueur des bajoyers. Elles collectent les eaux provenant des alluvions et du grès ; pour faciliter le drainage du rocher, un filtre est interposé entre le bajoyer et le grès au-dessus de la cote (37,00).

Sur la hauteur du grès, le mur bajoyer est en béton massif ; il est lié au rocher par des aciers de scellement. Au-dessus du rocher, le mur de 2 m d'épaisseur est en béton armé ; il est retenu par des tirants horizontaux placés à la

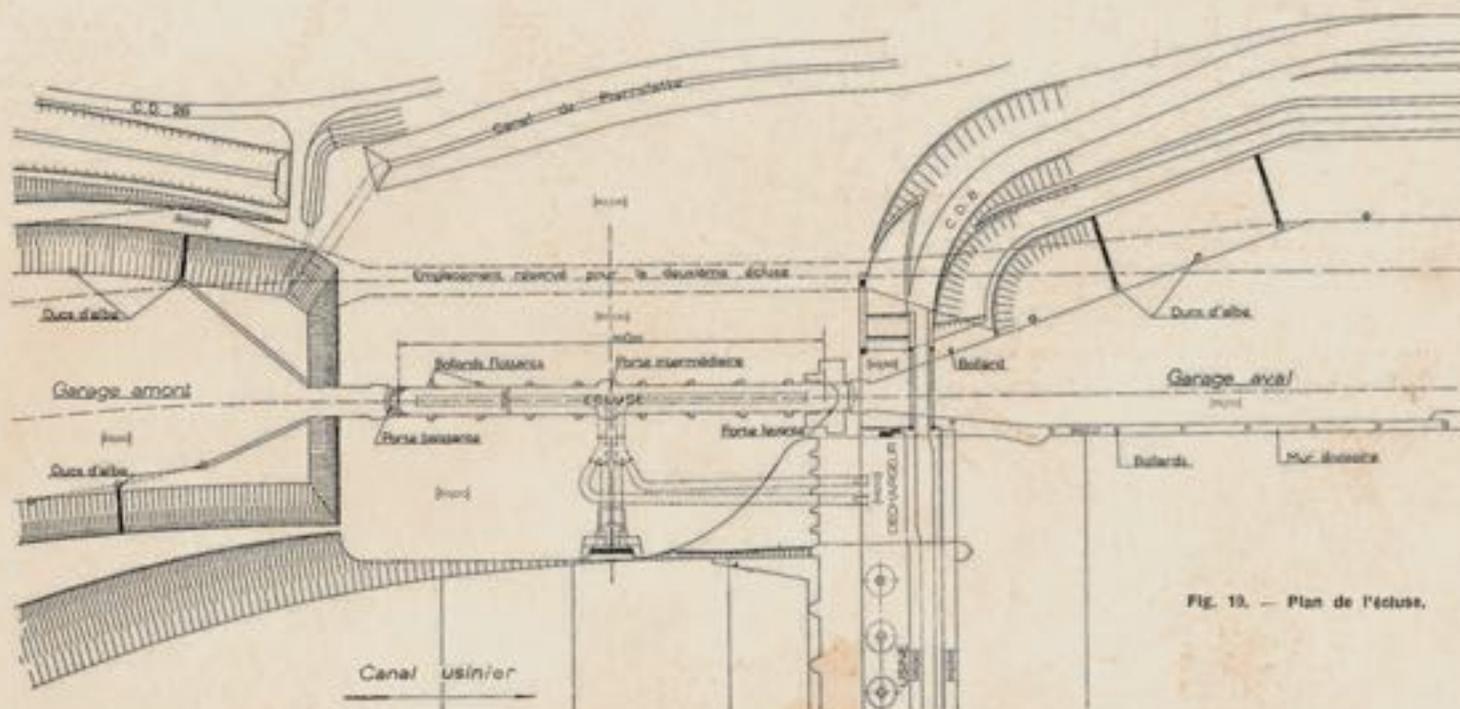


Fig. 18. — Plan de l'écluse.

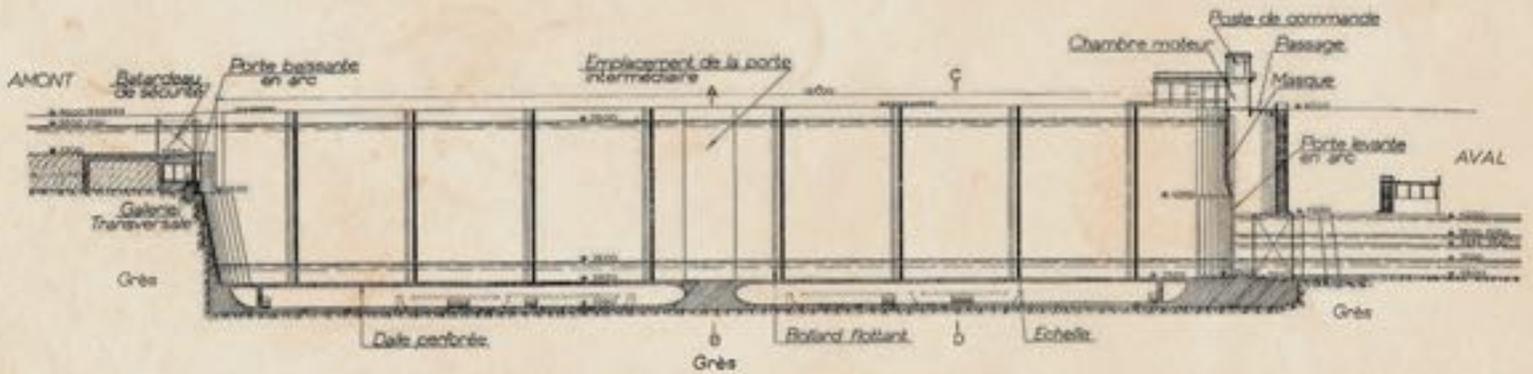


Fig. 20. — Coupe longitudinale de l'écluse.

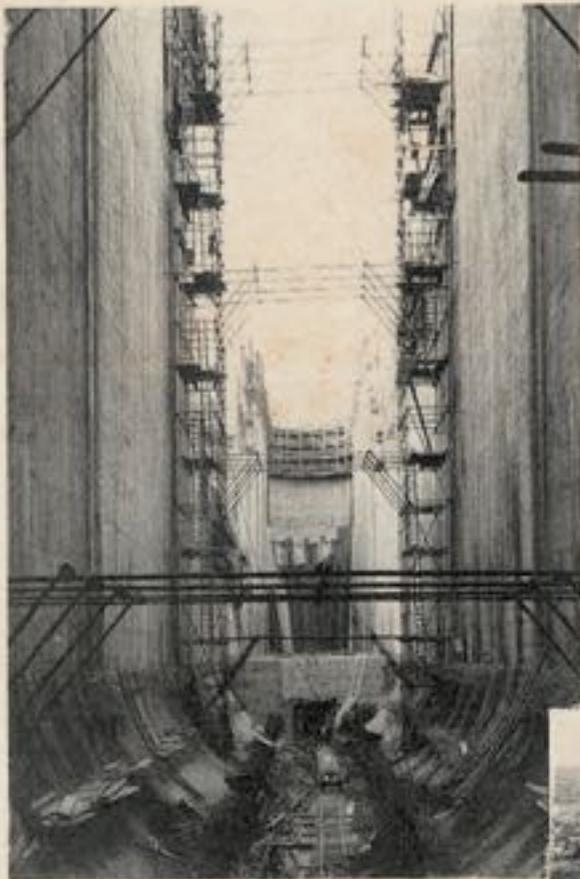


Fig. 21. — Ecluse. Vue prise de la tête aval.

partie supérieure du rocher; il travaille donc en console (fig. 19, 20, 21, 22 et 30).

Les parties basses des deux bajoyers sont réunies par une voûte circulaire qui tourne sa concavité vers le haut; la clé de voûte descend au niveau (22,00), soit environ 37 m sous le couronnement de l'écluse. A 5,60 m au-dessus, soit au niveau (28,50), les deux bajoyers sont contreventés par un fort plancher horizontal; nous reviendrons sur ces dispositions à l'occasion de l'alimentation en eau de l'écluse. Les études et le calcul de ces bajoyers ont été effectués sur les bases suivantes :

— le coefficient de sécurité est égal à l'unité lorsque les drains ne fonctionnant pas, l'ouvrage supporte la pression de l'eau

extérieure jusqu'au niveau (59,00) et la poussée du terrain au-dessus du rocher;

— les coefficients de sécurité sont normaux lorsque le drain assure l'assèchement du terrain au-dessus de (37,00), l'ouvrage supportant alors la pression de l'eau au-dessous de ce niveau, la poussée du terrain sec au-dessus du rocher, compte tenu d'une surcharge de 1 t : m² sur le terre-plein.

Pour éviter le contournement de l'écluse par les eaux venant du bief amont, les dispositions suivantes ont été prises : du côté est, la tête amont de l'écluse est réunie à la montagne rocheuse voisine par un masque en béton fondé au rocher; du côté ouest, l'écluse est isolée du canal usinier par un mur étanche qui sert aussi de guideau pour le déchargeur. Ce mur et le masque sont prolongés dans le grès de fondation par un rideau d'injection qui passe sous le batardeau amont de l'écluse et qui se raccorde à l'ouest au rideau d'étanchéité du déchargeur.

Etant donné l'équipement du chantier, le mur d'étanchéité amont et les tirants des bajoyers ont été construits dans des fouilles complètement ouvertes descendues jusqu'au grès; ces emplacements ont ensuite été remblayés pour former les terre-pleins.

Le mur de chute amont est en forme de tronc de cône vertical à base circulaire, qui tourne sa concavité vers le sas.

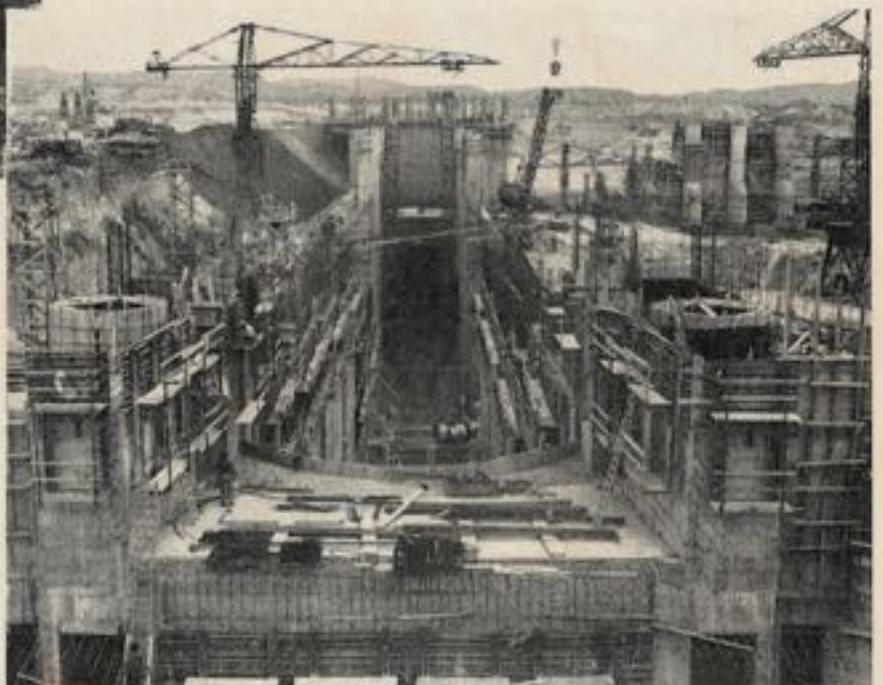


Fig. 22. — Chantier de l'écluse vu de l'amont.

PORTES ET BATARDEAUX

A. Porte aval.

Un masque fixe en béton armé règne entre le couronnement, cote (60,00) et le niveau (43,50) ; il ménage un tirant d'air de 7 m au-dessus des plus hautes eaux navigables, cote (36,50). La porte dont le seuil est à la cote (29,00) obture une ouverture de 14,50 m de hauteur ; c'est une porte levante mais qui affecte en plan la forme d'un arc demi-circulaire dont la concavité est tournée vers le sas. Le masque a, bien entendu, la même forme ; la porte se déplace le long de ce masque et du côté extérieur.

La porte est formée de cerces horizontales qui travaillent à la traction et sur lesquelles s'appuie un fort bordé également circulaire et tendu. Les cerces sont convenablement contreventées. Elles sont renforcées latéralement par des éléments triangulaires très puissants, dénommés crosses, qui donnent aux retombées des arcs la rigidité nécessaire. Les efforts provenant des crosses sont transmis par l'intermédiaire d'une lisse en bronze aux pièces fixes noyées dans la maçonnerie. L'ouverture totale de l'arc est de 180° de manière que les efforts aux appuis présentent une composante perpendiculaire aux bajoyers dirigée vers l'intérieur des maçonneries dont la stabilité est ainsi aisément assurée (fig. 23 et 24).

Des galets enserrment les divers rails d'appui ou de guidage de manière à empêcher tout glissement latéral et tout déplacement anormal des retombées de l'arc. Il est clair en effet que la partie centrale des cerces, qui est très souple, ne peut travailler normalement en arc et résister que si la fixité des crosses qui en constituent les retombées est suffisamment assurée. Des mâchoires de sécurité, qui en général ne travaillent pas, s'opposeraient éventuellement (par exemple dans le cas de choc d'un bateau) à ce que les retombées des arcs sortent de leurs logements et quittent leurs appuis. Les galets de roulement de cette porte levante sont montés excentriquement sur des barres de torsion formant ressort ; ces galets s'effacent sous la poussée hydraulique, et la porte s'appuie alors par l'intermédiaire de patins. Les galets ne sont donc jamais chargés. Les ressorts de torsion décollent la porte de ses appuis quand la poussée hydraulique disparaît ; la porte se lève alors comme une vanne-wagon non chargée ; toutefois, pour hâter les manœuvres, il a été prévu que la porte pourra être levée malgré une charge d'eau de 0,50 m (fig. 25 et 26).

Cette porte ne pèse que 160 t ; elle est bien moins lourde qu'une porte busquée ou qu'une vanne plate. Toutes les étanchéités sont assurées par des profilés en caoutchouc. La porte est protégée contre le choc des bateaux

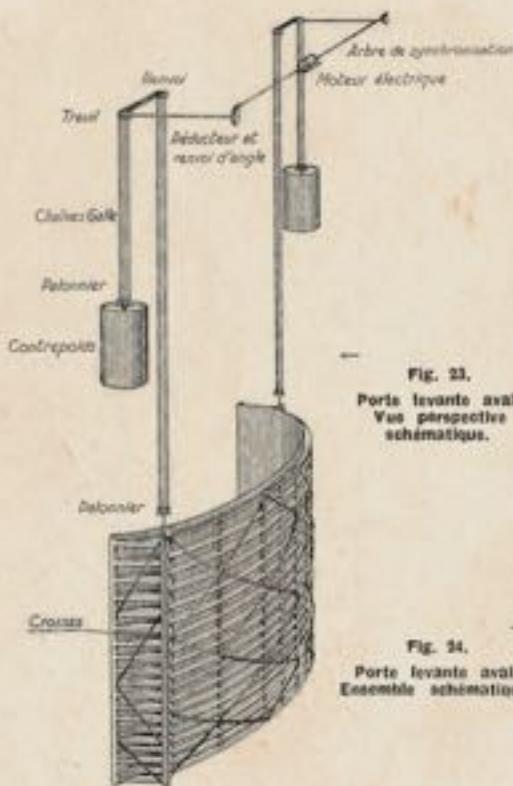


Fig. 23.
Porte levante aval.
Vue perspective
schématique.

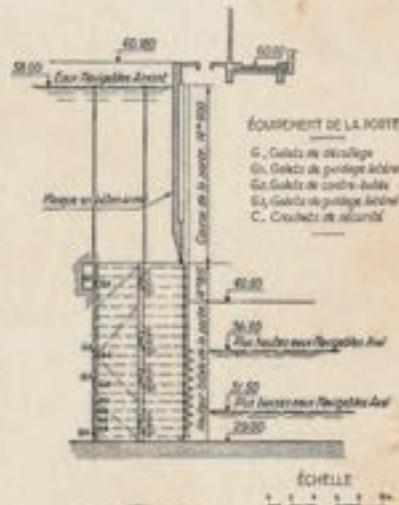


Fig. 24.
Porte levante aval.
Ensemble schématique.

venant de l'aval par un dispositif à câbles inspiré de celui en service sur le Welland Canal. Le choc contre la porte de bateaux avalant n'est guère à craindre par suite de la présence du masque en béton ; en outre, pendant le sassement, ces bateaux doivent en principe rester amarrés aux bollards flottants.

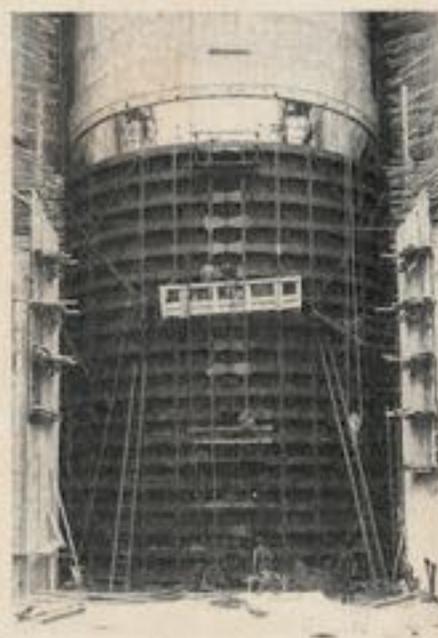
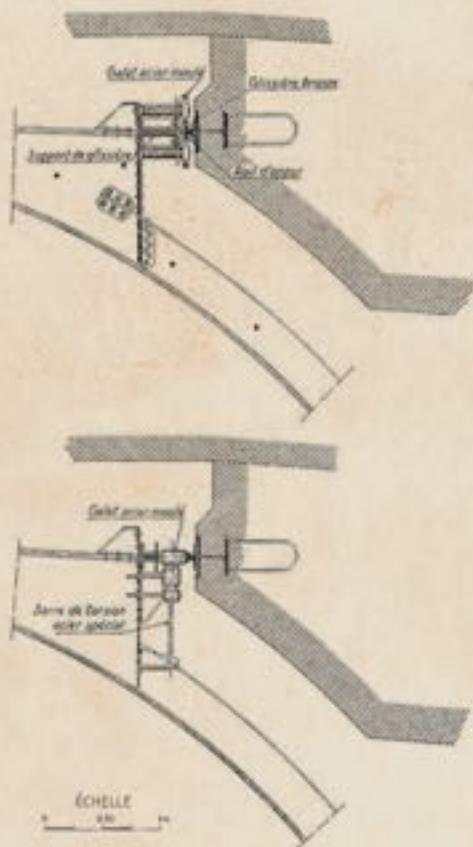


Fig. 25.
Galet de guidage
et de décollage
de la porte aval.

Fig. 26.
Porte aval.
Vue d'ensemble
pendant le montage.

Le batardeau aval est une porte busquée ordinaire simple, arasée au niveau des plus hautes eaux connues, cote (40,00).

B. Porte amont.

Cette porte en arc a également sa concavité tournée vers le sas. Elle est semblable à la porte aval, mais elle est plus simple et ne comporte pas de crosse : les arcs comprimés transmettent directement leurs efforts aux pièces fixes. La porte amont est baissante ; elle s'efface derrière le mur de chute ; elle a 6 m de hauteur ; le seuil est situé au niveau (53,00).

Le batardeau amont, constitué par une porte busquée ordinaire simple, peut servir de porte de secours en cas d'avarie de la porte en arc. Néanmoins, et quoiqu'il ne s'agisse pas d'un ouvrage exceptionnel, la porte est protégée contre le choc des bateaux avalant dans les mêmes conditions que la porte aval. Il convient en effet de tenir compte qu'à l'amont les bateaux peuvent être poussés contre la porte par l'effet du mistral.

Particularités du sas.

En raison de la grande hauteur de chute et des fortes vitesses envisagées pour la montée ou la descente du plan d'eau, il a paru nécessaire d'éviter que les bateaux s'amarent à des points fixes. Il est prévu sur chaque bajoyer quatre bollards flottants du type en usage dans le Tennessee. Ces bollards sont suffisamment robustes pour permettre aux convois et aux automoteurs qui rentrent dans l'écluse de rompre leur erre. Des lisses métalliques scellées dans le béton évitent le frottement des bateaux sur les maçonneries. L'espacement entre deux lisses opposées est de 12 m.

Avec les portes en arc utilisées, la définition de la longueur utile du sas n'est plus évidente comme dans le cas d'une écluse à portes busquées ou d'une écluse à portes levantes plates. La partie plane des bajoyers a une longueur de 193,50 m. Compte tenu de l'effilement qu'il est indispensable de donner aux bateaux qui naviguent sur des fleuves comme le Rhône, on peut admettre que la longueur utile du sas est au moins égale à celle d'une écluse de 200 m qui serait fermée par des vannes plates levantes. L'intervalle entre la clé de voûte du masque aval et la clé de voûte de la porte amont est de 203,50 m.

Des encoches ont été ménagées dans les bajoyers en vue de placer une porte intermédiaire si le besoin s'en fait sentir. Ce serait une porte busquée de 31 m de hauteur totale dont les pressions seraient transmises entièrement aux bajoyers. Le seuil qui est déjà construit ne supporterait aucune pression. Il est facile de montrer que la mise en place de cette porte, qui ne donnerait à la navigation qu'une sécurité supplémentaire assez minime, ne se justifie pas du point de vue économique. Le débit moyen annuel du canal est de $1\ 200\ m^3 : s$; le volume d'eau moyen d'une écluse est de $50\ 000\ m^3$ environ. Avec l'intensité actuelle de la navigation, le nombre annuel des éclusées sera tout au plus de 1 500 ; ces éclusées absorberont donc les $3/1\ 000$ environ du débit total. La porte intermédiaire permettrait d'effectuer un tiers environ des éclusées avec la demi-écluse amont ; la réduction de la consommation d'eau serait donc égale au sixième de la consommation dégagée ci-dessus, permettant de produire environ 1 million de kWh supplémentaires. Il faudrait un trafic au moins cinq fois plus élevé pour que cette production supplémentaire puisse renter les dépenses qui restent à faire pour la construction et la mise en service de la porte intermédiaire, compte tenu des charges d'entretien et d'amortissement.

Alimentation en eau et vidange.

La difficulté fondamentale d'une écluse de 26 m de chute est celle du système de remplissage et de vidange. Les

dispositions classiques en la matière procureraient des durées d'éclusage trop longues et l'eau serait trop agitée tant dans le sas que dans le garage aval.

La prévision de mise en place éventuelle d'une porte intermédiaire a conduit la Compagnie à aménager deux systèmes séparés d'alimentation et de vidange, un pour chaque demi-écluse. Pour l'écluse entière, les deux systèmes seront mis en action simultanément, sauf le cas de révision de l'un d'eux.

Il faut éviter dans l'écluse une turbulence locale excessive et aussi des mouvements d'ensemble de l'eau (seiches) qui seraient l'un et l'autre dangereux pour les bateaux.

On a adopté des vitesses moyennes du plan d'eau de l'écluse de 1,60 m : mn pour le remplissage et de 2,30 m : mn pour la vidange, de sorte que la somme des durées de remplissage et de vidange est au plus de 27 mn. Ceci nécessite des débits maxima de l'ordre de $100\ m^3 : s$, et l'énergie à dissiper soit dans le sas, soit à la restitution pour éviter des courants et des tourbillons susceptibles d'affecter les bateaux, est de l'ordre de 30 000 ch. Ces problèmes sont difficiles à résoudre. Deux systèmes assez différents ont été mis au point par le Laboratoire d'Hydraulique chargé de les étudier. Le système retenu est le suivant :

Le premier but à atteindre est l'uniformité d'alimentation du sas en régime transitoire : la durée de propagation de l'onde de remplissage doit être la même pour tous les points d'alimentation et la vitesse de l'eau doit être sensiblement la même en tous ces points. Cette uniformité doit bien entendu subsister en régime permanent. Les aqueducs principaux d'alimentation et de vidange de chaque demi-sas arrivent au centre de l'écluse ; le demi-sas amont est alimenté et vidé à son extrémité aval, et le demi-sas aval, à son extrémité amont. A partir de ce point central d'alimentation, l'aqueduc de chaque demi-sas, qui arrive perpendiculairement à l'axe de l'écluse, tourne de 90° et suit l'axe de l'écluse. Il alimente le sas en huit points placés deux à deux symétriquement par rapport à l'axe de l'écluse ; les longueurs des aqueducs larrons et les sections des ajutages d'alimentation sont déterminées de manière que la condition fixée ci-dessus soit satisfaite.

Une seconde condition est que les jets sortant de ces ajutages ne donnent pas lieu à une agitation locale exagérée. A cet effet, les ajutages ont été placés à des niveaux aussi bas que possible, de manière que l'eau du sas produise un effet de lac dissipant par frottement latéral dans le liquide une partie notable de l'énergie des jets. Une surprofondeur importante suffirait à obtenir la tranquillisation de l'eau. Cependant, chaque ajutage pouvant débiter jusqu'à 6 et même $10\ m^3 : s$, il est préférable et moins onéreux de diviser ces jets en d'autres plus petits. A cet effet, le dispositif d'alimentation est placé sous le radier horizontal de l'écluse, lequel est percé de toute une série de trous de 0,50 m de diamètre. Nous avons vu que ce radier est situé au niveau 28,50, soit donc à 3 m au moins au-dessous du niveau minimum ; ce matelas d'eau de 3 m est suffisant pour dissiper l'énergie des petits jets, sortant de la plaque perforée (fig. 27 et 28).

Les études sur modèle réduit ont permis non seulement d'assurer l'équirépartition des débits des aqueducs en régime transitoire et en régime permanent, mais aussi de déterminer la forme à donner aux débouchés des seize aqueducs larrons pour obtenir la meilleure répartition de l'eau dans le sas, compte tenu de l'effet de la dalle perforée.

Il a de même été reconnu que certaines zones de cette dalle situées près des débouchés des aqueducs, devaient rester sans perforations, ainsi d'ailleurs que la région axiale. Les centres des orifices de la dalle forment des lignes parallèles à l'axe de l'écluse ; quant aux orifices (qui peuvent être constitués par des buses noyées dans le béton de la dalle), ils sont inclinés de 30° sur la verticale, tantôt dans

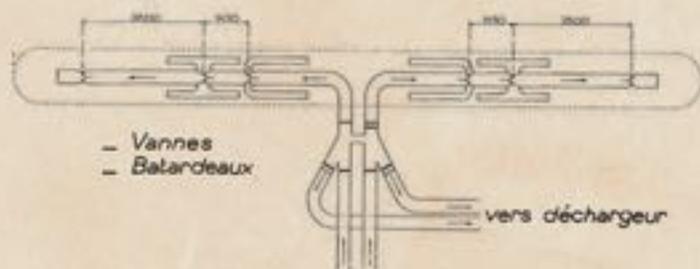


Fig. 27. — Schéma d'alimentation et de vidange de l'écluse.

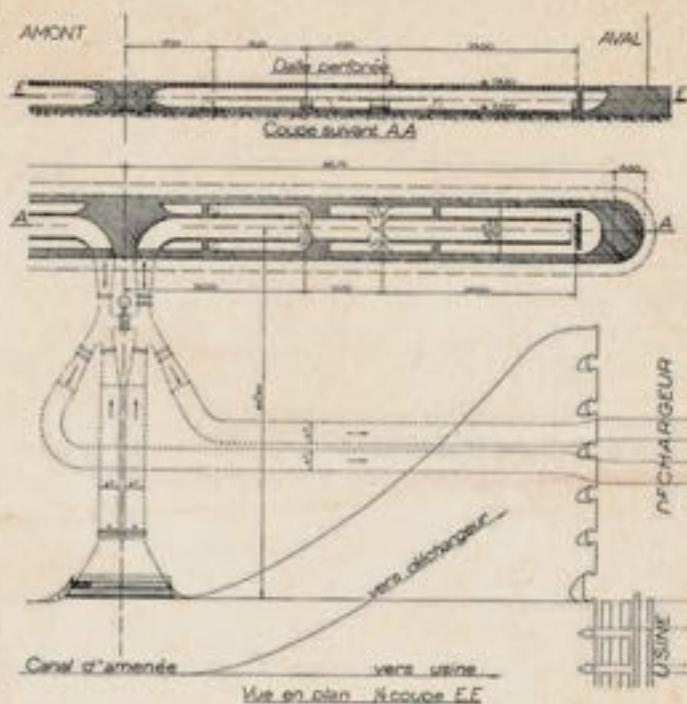


Fig. 28. — Plan des aqueducs d'alimentation et de vidange.

un sens, tantôt dans l'autre. On crée ainsi des rouleaux d'eau à axes horizontaux qui provoquent une légère dépression dans l'axe de l'écluse et facilitent le centrage des bateaux (fig. 29) sans augmenter la turbulence. Les efforts sur les bateaux dépendent de la rapidité d'ouverture des vannes ; avec la loi d'ouverture adoptée, on estime que l'effort maximum sur un bateau chargé sera de l'ordre de 200 kg.

Au total, les essais montrent que 96 p. 100 de l'énergie sont dissipés à l'amont du sas ; les 4 p. 100 restants se dissipent en tourbillon au droit des « petits jets » ; la surface de l'eau est très calme.

Au cours de la vidange, l'eau du sas suit d'abord le même chemin qu'au remplissage, mais en sens inverse, puis grâce à un jeu de vannes, elle gagne les aqueducs de vidange qui s'embranchent sur ceux d'alimentation. Le problème de la vidange est très simplifié à Saint-Pierre du fait que les aqueducs principaux de vidange débouchent dans le déchargeur, de sorte qu'il n'y a pas lieu de se préoccuper de l'amortissement du jet de vidange qui est isolé du garage aval (1). De même, la prise d'eau amont est alimentée par le canal usinier, ce qui évite tout courant dans le garage amont.

(1) Par contre, lorsque le déchargeur fonctionne, un effet de trombe se produit et l'on risque une turbulente dangereuse de l'écluse. Dans ce cas, les vannes de vidange doivent être fermées.

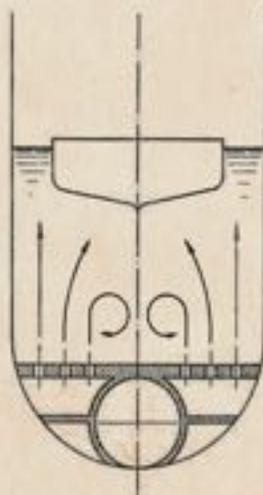


Fig. 29. — Autocentrage du bateau dans le sas pendant la montée du plan d'eau.

Les aqueducs principaux d'alimentation et de vidange sont circulaires et ont 4 m de diamètre, la section devenant rectangulaire (2,90 m x 3,40 m) au droit des vannes.

Tout le vannage est groupé au centre de l'écluse sous le terre-plein de rive droite, dans un même bloc qui comprend la chambre de manœuvre des vannes. Dans certaines écluses de hautes chutes, on a estimé nécessaire, pour éviter les cavitations, de construire des reniflards à l'aval des vannes d'alimentation. Les quantités d'air entraînés sont considérables ; cet air se dégage dans le sas en provoquant un bouillonnement intense et dangereux ; on peut pallier cette difficulté par une galerie de dégazage, située entre les vannes et le sas.

Le laboratoire chargé des études de l'écluse et des vannages a admis qu'à Saint-Pierre la cavitation était peu à craindre par suite des dispositions d'ensemble des ouvrages d'alimentation. Cependant les aqueducs d'amenée sont blindés sur une longueur de 5 m et des reniflards ont été aménagés du côté des vidanges (fig. 28).

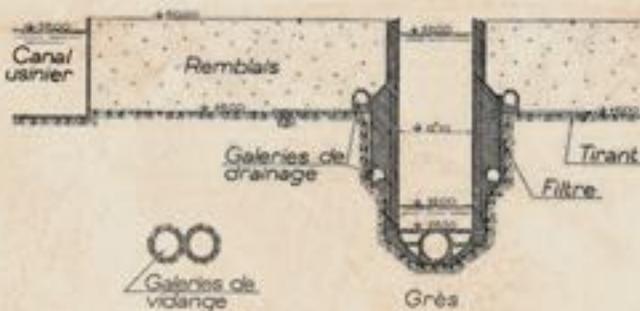


Fig. 30. — Ecluse. Coupe transversale.

Les vannes de remplissage et de vidange sont des vannes wagons de 2,90 m x 3,40 m, manœuvrées par des servomoteurs à huile situés dans une chambre à 20 m au-dessus des vannes. Un jeu de trois batardeaux permet d'isoler l'une quelconque des vannes et, par conséquent, de procéder aux révisions de celles-ci sans interrompre le service de l'écluse.

Un jeu de pompes permet d'épuiser dans d'excellentes conditions, soit tout ou partie du bloc de vannage, soit le sas de l'écluse.

Exploitation de l'écluse.

La porte aval est équilibrée par deux contrepoids placés dans des puits prévus dans les bajoyers. Un treuil est installé au-dessus de chaque bajoyer ; les deux treuils sont synchronisés mécaniquement. Toutes les commandes de l'écluse se font normalement à distance, à partir du poste de commande placé au-dessus du masque aval. De ce poste, on jouit d'une très bonne visibilité (fig. 23).

Les opérations constituant un cycle d'éclusage (par exemple : fermeture de la porte aval et mise en place du câble de sécurité correspondant, ouverture des vannes de remplissage du sas, ouverture de la porte amont et immersion du câble de sécurité correspondant, fermeture des vannes de remplissage) pourront être commandées suivant deux

processus distincts : dans la commande dite « automatique », la fin de chaque opération du cycle provoque l'exécution de la suivante ; dans la commande dite « individuelle asservie », chaque opération doit être commandée individuellement, mais l'ordre de ces opérations est imposé, ce qui évite toute manœuvre intempestive.

Les portes et les vannes peuvent en outre être commandées localement s'il y a lieu.

Les convois remorqués par des remorqueurs à aubes devront se disloquer, puis se reconstituer dans les garages amont et aval. Ces remorqueurs à aubes ne pouvant pas accéder dans l'écluse, il faut prévoir le remorquage des barques depuis les garages jusque dans le sas et inversement. Un transporteur Cheneau ou d'autres engins analogues ne sauraient donner satisfaction en raison de la grande profondeur de l'écluse. La Compagnie a prévu que ces mouvements des barques seront assurés par un petit remorqueur affecté au service de l'écluse, du moins jusqu'à ce que les remorqueurs à aubes soient mis définitivement au rebut, ou que des écluses similaires soient construites à l'amont et à l'aval.

Le cycle complet d'éclusage est le suivant :

Entrée d'un convoi montant	4'	
Levage du câble de sécurité aval et fermeture de la porte aval	2'40"	
Remplissage du sas	16'15"	
Ouverture de la porte amont et descente du câble de sécurité amont	2'	
Sortie du convoi montant	4'	
		28'55"
Levage du câble de sécurité amont et fermeture de la porte amont	2'	
Vidange du sas	11'18"	
Ouverture de la porte aval et descente du câble de sécurité aval	2'40"	
		15'58"
Durée du cycle d'éclusage		44'53"

Soit 45' environ.

CONCLUSION

L'aménagement de la chute de Donzère-Mondragon a nécessité, du point de vue de la navigation, de résoudre certains problèmes nouveaux ou d'extrapoler largement les solutions connues. Il en a été ainsi notamment en ce qui concerne les prises d'eau et le rejet du débit solide, la construction de très larges passes navigables et de très grandes vannes, les dispositions à prendre pour éviter des ondes dangereuses, enfin le mode de remplissage et de vidange de l'écluse et le bon fonctionnement de portes d'un type économique.

Sans revenir sur les dispositions exceptionnelles prises pour l'exécution très rapide d'environ 50 millions de m³ de déblais, on peut ajouter que l'observation ci-dessus s'applique aussi à :

— l'étanchéité du canal d'amenée qui n'est que très partiellement revêtu, bien qu'étant généralement creusé dans des alluvions (sables et galets) ;

— la réalimentation de la nappe phréatique tout le long de l'immense drain formé par le canal de fuite ;

— la construction et la mise en service de groupes Kaplan de très forte puissance reportant sur leurs pivots des charges égales à 1 400 t.

Tout cela n'a été rendu possible que par un travail d'équipe auquel ont bien voulu contribuer les entrepreneurs, les constructeurs, les laboratoires d'hydraulique.

En ce qui concerne plus particulièrement l'écluse et ses portes, nous avons bénéficié de la précieuse collaboration de M. le Président Caquot. A tous, nous tenons à rendre un juste hommage, ainsi qu'à nos collaborateurs de la Compagnie Nationale du Rhône.

Nous serions heureux que cette description, forcément très incomplète, incite des techniciens français et étrangers à visiter nos ouvrages et à nous faire part de leurs suggestions.

P. DELATTRE.





**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ
PRÉVOYANCE
RETRAITE
ÉPARGNE
ASSURANCES
ACTION SOCIALE
VACANCES

PRO BTP
GROUPE



PRÉSERVONS L'AVENIR



Protection de digues sur la réserve de Breuil Magné.

Dans un contexte sensible, marqué par des phénomènes d'inondations fréquentes et de forte intensité, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans l'aménagement d'ouvrages hydrauliques de haute technicité. Ses solutions sont pensées pour protéger les populations et les infrastructures autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

Breuil Magné, Charente-Maritime

Matelas Reno® - 8 000 m²

Macmal® renforcé acier - 2 000 m²

MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr