

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX.** LITCHENDJILI, PREMIER PROJET GAZIER OFFSHORE DU CONGO. RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VIVES-EAUX SUR LA SEINE. QUAI CROISIERE A FORT-DE-FRANCE. EXTENSION DU PORT EST A LA REUNION. CONGO RIVER CROSSING. CONFORTEMENT DU BARRAGE DU CHAMBON. TRAVAUX DE REHABILITATION DU PERRE RISBAN A CALAIS. PORT MILITAIRE DE BREST. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LES BATARDEAUX DE L'USINE MAREMOTRICE DE LA RANCE

N°914 AVRIL/MAI 2015



CONGO RIVER  
CROSSING  
© SAIPEM S.A.





ArcelorMittal

Julien Grundheber  
 Responsable Secteur Chaud  
 Train 2 de Belval  
 Luxembourg

## Connecting **pioneers**\*

Pour nos clients, nous créons de la valeur en combinant les idées innovantes de nos chercheurs à l'excellence de notre force de vente. Les ingénieurs, vecteurs d'innovation par la force de leurs idées, et les entrepreneurs, prêts à changer le monde par l'audace de leur vision, deviennent ainsi les pionniers des solutions de demain. Deux univers unis par un lien d'acier. Les palplanches signées ArcelorMittal.

**Directeur de la publication**  
Bruno Cavagné**Directeur délégué**  
**Rédacteur en chef**  
Michel Morgenthaler  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03  
morgenthalerm@fntp.fr**Comité de rédaction**  
Hélène Abel (Ingérop), David  
Berthier (Vinci Construction France),  
Sami Bounatirou (Bouygues TP),  
Jean-Bernard Detry (Setec), Philippe  
Gotteland (Fntp), Jean-Christophe  
Goux-Reverchon (Fntp), Laurent  
Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar  
(Eiffage TP), Florent Imberty  
(Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis),  
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),  
Jacques Robert (Arcadis), Claude  
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion  
(Systra), Michel Morgenthaler (Fntp)**Ont collaboré à ce numéro**  
**Rédaction**  
Monique Trancart, Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**  
Com et Com  
**Service Abonnement TRAVAUX**  
Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot  
92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22  
Fax +33 (0)1 40 94 22 32  
revue-travaux@cometcom.frFrance (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.comLa 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°0116 T 80259  
ISSN 0041-1906

## QUEL AVENIR POUR L'ACTIVITÉ HYDRAULIQUE ?



© DR

**S**i la majeure partie des équipements hydrauliques a déjà été réalisée en France, faut-il pour autant en conclure que ces ouvrages ressortent d'une activité du passé ?

Une telle conclusion constituerait certainement une grave erreur ! D'abord parce que l'International est fortement demandeur de spécialistes dans ce domaine ; l'export représente une part croissante de l'activité de nos entreprises. Ensuite parce que l'entretien de notre parc d'ouvrages vieillissants suppose une adaptation délicate à un environnement de plus en plus complexe à bien maîtriser.

C'est le cas des équipements des barrages destinés à évacuer les crues et dont le calibrage s'incrémente régulièrement du fait de notre connaissance continuellement améliorée en matière d'hydrologie. La réponse apportée par les évacuateurs en touches de piano (PK Weir) constitue un progrès réel et récent en la matière. C'est aussi l'impact d'une législation de plus en plus exigeante en matière de sécurité des ouvrages. La prise en compte de l'aléa sismique se généralise et impose de progresser dans ce domaine. Une fructueuse collaboration a démarré sur ce sujet entre nos collègues japonais et EDF. Un Projet National dédié est également en cours de montage.

La gestion de l'eau constitue aujourd'hui plus que jamais un enjeu crucial pour nos sociétés : énergie « verte » par excellence, l'énergie hydro-électrique et, avec elle, les barrages sont appelés à se développer. Dans les années à venir, il ne sera donc pas seulement question de maintenir le parc existant des barrages mais bien de le valoriser afin de développer son potentiel.

Convaincu que les barrages constituent un domaine d'avenir, le Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR) s'est donné pour mission d'en favoriser la connaissance, notamment à travers un site Internet valorisant leur formidable potentiel.

Cette réflexion, amorcée à partir du domaine des barrages, peut aisément être élargie aux autres domaines de l'hydraulique :

- Les transports fluviaux favorisent la protection de l'environnement et à ce titre le développement des travaux d'aménagement des canaux et rivières est assuré ;
- Le renforcement des ouvrages d'endiguement destinés à garantir une protection efficace des populations constitue également un challenge actuel ;
- Lieux de transferts vitaux pour l'économie, nos ports se doivent de répondre à l'évolution du transport maritime.

Ainsi, loin de constituer une activité du passé, le domaine de l'hydraulique se doit d'être résolument tourné vers l'avenir !

Mais le retour d'expérience que nous apporte le passé est crucial dans ce domaine. Ce retour d'expérience est encore présent dans la mémoire de quelques spécialistes aptes à transmettre une expérience de constructeur à la fois riche et précieuse. Il est important de la capitaliser en lui conservant une place adaptée dans les formations en matière d'ouvrages hydrauliques au sein des cursus de nos écoles d'ingénieurs.

**MICHEL GUERIN**  
PRÉSIDENT DU COMITÉ FRANÇAIS DES BARRAGES ET RÉSERVOIRS  
PRÉSIDENT DE LA DÉLÉGATION TECHNIQUE DE LA FNTF





# TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

EXTENSION DU PORT EST À LA RÉUNION © THOMAS LEBON/NATIVE STORIES/IMAGE IN PRODUCTION





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC  
CLAUDE BESSIÈRE**

LA NUMÉRO 7 DES PONTS ET CHAUSSÉES  
NOUS ENTRAÎNE DANS UN TOURBILLON  
EXALTANT

22 TOURNAUD : LA VOIE FLUVIALE  
POUR VOIE ROYALE



28

**LITCHENDJILI**

Premier projet gazier offshore  
du Congo



34

**RECONSTRUCTION  
DU BARRAGE  
DE VIVES-EAUX**

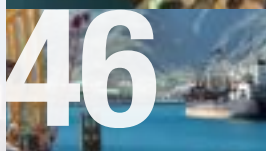
sur la Seine



42

**QUAI CROISIÈRE  
À FORT-DE-FRANCE**

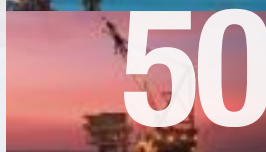
Le compactage par vibrations  
comme alternative écologique  
au dragage



46

**EXTENSION  
DU PORT EST**

à la Réunion



50

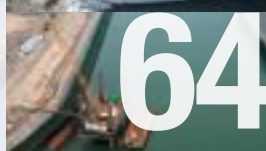
**CONGO RIVER CROSSING**

Un projet maritime et souterrain



56

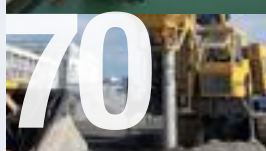
**CONFORTEMENT  
DU BARRAGE  
DU CHAMBON**



64

**LES TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION  
DU PERRÉ RISBAN**

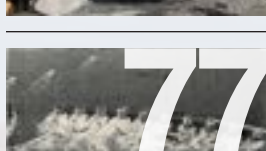
à Calais



70

**PORT MILITAIRE  
DE BREST**

Traitement de l'aléa liquéfaction  
par colonnes ballastées à l'arrière  
d'un mur de quai



77

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :  
LES BATARDEAU  
DE L'USINE MARÉMOTRICE  
DE LA RANCE**

avril 1964









## COMMENT DRAGUER EN MARTINIQUE ? HONNI SOIT QUI MAL Y PENSE

**BALINEAU** est dans son terrain de jeu favori au Terminal Croisière de la Pointe Simon. Existe-t-il une autre solution que le dragage lorsque le but visé est tout simplement d'abaisser la bathymétrie ? De l'intuition, une connaissance du terrain, un peu de science géotechnique, du matériel fabriqué sur place, un maître d'ouvrage réceptif et confiant, ont abouti à une alternative au dragage intelligente, évitant le permis de dragage et l'évacuation des produits : le compactage du fond par vibration. Encore fallait-il que les matériaux s'y prêtassent. (voir article page 42).









## DE LA FIBRE DE CARBONE AU BARRAGE DU CHAMBON

**L'ALCALI-RÉACTION**, cancer du béton, trouve des remèdes. Le barrage du Chambon fait l'objet d'une campagne de confortement en 2013-2014, dans la continuité de celles réalisées dans les années 1990, pour pallier les désordres consécutifs au gonflement du béton. Outre les difficultés d'accès propres à un grand barrage en site de montagne, les travaux de sciage, tirantage, pose d'un filet de renforcement en fibre de carbone et remplacement de membrane d'étanchéité, ont requis la conjugaison des expertises de pointe d'EDF CIH, de Bouygues TP et de Setec TPI.  
(voir article page 56).



© PASCAL TOURNIÈRE



## BÂTIMENT ET INFORMATIONS MODÉLISÉS : UNE RÉVOLUTION DES MÉTIERS DE LA CONSTRUCTION

**Le Bim se décline dans tout le BTP. Celui sur les infrastructures fait l'objet d'un projet de recherche. Basé sur la collaboration entre acteurs d'une construction, il restructure les métiers. Objectif : des opérations mieux ficelées.**



Eiffage a remporté un Bim d'or pour son bâtiment en construction à Vélizy-Villacoublay (Yvelines).

Le Bim - Building Information Modeling/ Bâtiment et informations modélisés - est une façon de collaborer à une construction en s'appuyant sur de l'informatique partagée. Dans l'idéal, tous les acteurs d'un projet - de la conception à la déconstruction - et y compris la maîtrise d'ouvrage, vont travailler sur une plate-forme internet. Afin de se comprendre, ils recourent à des formats d'échange communs, les IFC (Industry Foundation Classes) qui évitent la ressaisie de données. Un IFC définit chaque

objet dans un standard interopérable entre logiciels. « Le Bim est une méthode de travail basée sur la collaboration autour de la maquette numérique, écrit Bertrand Delcambre dans son rapport sur le numérique dans le bâtiment (décembre 2014). Dans ce processus, chaque acteur de la construction utilise cette maquette, initialement conçue par l'architecte et en tire les informations dont il a besoin pour son métier. En retour, il alimente la maquette de nouvelles informations (...). La maquette numérique est ainsi actuali-

sée tout au long de la vie de l'ouvrage (...). Le maître d'ouvrage dispose d'un avatar virtuel de l'ouvrage, puissant outil de gestion. (...) »

Le Bim est donc plus que de la maquette numérique même si les partenaires interviennent concrètement sur une interface graphique.

### → Objets reliés entre eux

Le secret du Bim réside dans sa capacité à réagir automatiquement à une modification parce que les objets figurant dans la base de données sont reliés entre eux. Ainsi, « si un poteau doit être moins haut que prévu, la poutre qui s'appuie dessus va descendre alors qu'en conception assistée par ordinateur elle ne bougerait pas, explique Louis Demilecamps, président du groupe de recherche Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables (Minnd).

*Le Bim, c'est la description de l'objet de construction sous forme d'une collection d'objets avec des caractéristiques géométriques associées à des informations utiles au projet - matériaux, propriétés attendues, planning de fabrication et de pose, etc. »*

« Il peut être nécessaire de relier un bâtiment aux infrastructures pour une étude d'impact, une carte de prévention des risques, s'il produit de l'énergie et en fournit à l'extérieur, » souligne Pierre Mit, président de l'Union nationale des économistes de la construction (Untec). L'intérêt pour la démarche remonte aux

années 1990 avec la création de Building Smart International dont Mediaconstruct est l'antenne française, avec le mot d'ordre "Mieux communiquer pour mieux construire".

Les progrès en informatique, en logiciels et la plus grande familiarité avec l'internet contribuent au développement du Bim. La mission numérique dans le bâtiment créée en mai 2014 puis la remise des Bim d'or en septembre par le ministère du Logement, l'ont mis en avant. Un atelier était organisé au Salon des maires<sup>(1)</sup>. De plus, le Bim est introduit dans les marchés publics par la directive européenne 2014/24 (articles 22.4 et 90.2) avec transposition en droit français en 2018.

### → Investir dans la formation

Le Bim n'est pas réservé aux grands projets ni aux grosses entreprises. La formation représente un investissement plus important que le matériel. L'École nationale des ponts et chaussées propose un master spécialisé depuis septembre. Des stages se montent par métier.

### Pour en savoir plus :

*Bim et maquette numérique d'architecture*, Ed. Eyrolles et CSTB, juin 2014 ; <http://mission-numerique-batiment.fr> ; [www.communic.fr](http://www.communic.fr) ; <http://iug-buildingsmart.org> ; [www.mediaconstruct.fr](http://www.mediaconstruct.fr) ; [www.minnd.fr](http://www.minnd.fr). ■

<sup>(1)</sup> Interventions de Bim France, la ville du Havre et l'Untec.

## UN BIM SPÉCIAL INFRASTRUCTURES

Trente-deux organismes collaborent au projet national de recherche Bim infrastructures, baptisé Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables (Minnd).

Constitué en mars 2014, le Minnd rassemble des représentants de centres de recherche, de l'ingénierie, d'entreprises, de l'édition de logiciels, de la maîtrise d'ouvrage utilisatrice.

Le groupe a commencé par mieux définir les infrastructures, à en déterminer l'objet élémentaire. Est-ce la ligne rouge (colonne vertébrale du tracé) autour de laquelle le projet s'articule ? Les objets peuvent être les fossés, la signalisation, les courbes, les ouvrages d'art, les bretelles de sortie, etc. En les reliant, il est possible d'évaluer la visibilité dans un tronçon.

« C'est un projet franco-français financé par les participants, » précise Louis Demilecamps, directeur scientifique de Vinci Construction France, qui préside le groupe.

### → Très utile aussi sur chantier

Le démarrage du projet de recherche a reçu une subvention de la direction recherche et innovation du ministère de l'Écologie. La gestion est confiée à l'Irex<sup>(1)</sup>.

« Le Bim va révolutionner les façons de travailler surtout du management de projet, » estime Pierre Benning, directeur adjoint informatique technique chargé du déploiement du Bim chez Bouygues Travaux Publics, entreprise initiatrice et pilote avec Egis, du projet Minnd.

Bouygues TP met en œuvre le Bim sur la rocade L2 de Marseille parallèlement aux méthodes traditionnelles. Elle est Bim manager pour la construction et Egis l'est pour la conception. « Il est question d'échange de données, de structuration de l'information et du contrôle de sa qualité, des interférences et incohérences à résoudre, développe Pierre Benning. Avec la maquette numérique, le responsable du chantier a toutes les informations pour améliorer son travail quotidien. »

### → Quel droit d'accès ?

Un point achoppe encore : le partage de la donnée sur une plate-forme unique. « Sur le projet L2, nous utilisons plusieurs plates-formes que nous synchronisons, ajoute M. Benning. Nous n'en sommes pas encore au "conteneur" unique car

cela pose des problèmes de responsabilité, de droit d'accès. Une partie seulement des informations peut être échangée. » ■

<sup>(1)</sup> Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil.



La construction de la rocade L2 à Marseille fonctionne en Bim et de façon traditionnelle.



## RESTAURATION DU RHÔNE

Plus de 70 millions d'euros sont au programme de l'accord-cadre 2014-2018 signé entre la Compagnie nationale du Rhône (CNR) et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (financier à 50 %) avec l'expertise de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de bassin Rhône-Méditerranée et l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques. Cet accord-cadre est la colonne vertébrale du volet écologique du futur plan Rhône 2015-2020.

CNR, concessionnaire du fleuve, se préoccupe de concilier son potentiel hydro-électrique dont des petites centrales, avec la préservation de la ressource en eau, la restauration des milieux aquatiques et la protection des espèces présentes ou migratrices. C'est le second accord-cadre de quatre ans.

Les actions pour « *changer le visage de l'écologie du Rhône* » comme il est écrit dans un communiqué, consistent principalement à restaurer des îlots, bras d'eaux calmes soit reliés en permanence au Rhône, soit seulement pendant des crues. Les îlots abritent de nombreuses espèces qui s'y reproduisent. Ils contribuent au ressuyage des plaines - drainage naturel - après les débordements.

### → Décolmater le lit

Parmi les travaux relevant de l'accord-cadre, citons ceux de restauration écologique de tronçons court-circuités du vieux



Le Rhône est accompagné d'une multitude de bras d'eaux calmes abritant une nature riche.

© C. MOIRENC

Rhône à Péage de Rousillon et Montélimar (Drôme) et la remise en mouvement de sédiments dans le lit du Rhône pour le décolmater. À Montélimar, le vieux Rhône s'étend sur 13 km. Deux îlots y sont restaurés, une passe à poissons est

ménagée, une petite centrale hydroélectrique est implantée et la connexion piscicole de certains affluents, rétablie. Sur le secteur Donzère (Drôme)-Mondragon (Vaucluse), des études environnementales vont être engagées. ■

## CRÉATION DE MEDLINK PORTS

**Afin de renforcer le transport de marchandises par voie fluviale sur le Rhône et la Saône, Voies navigables de France, la Compagnie nationale du Rhône, les ports maritimes et fluviaux ont créé l'agence de développement Medlink Ports, fin janvier. L'État et les collectivités locales sont associés à la démarche. L'agence est chargée de promouvoir ce mode de transport et de faciliter le report de la route vers le fleuve par les chargeurs. Elle favorisera la coopération entre monde maritime et fluvial.**

## ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DANS LE PORT DE MARSEILLE-FOS



© GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE

Secteur de la plate-forme Piicto sur 1 200 ha en mutation dans le port de Fos.

Un prototype d'éolienne offshore, flottante et à axe vertical, est en cours d'assemblage dans la darse n°1 du port de Marseille-Fos (secteur de Caban). La société Nénuphar espère en installer 13 à 17 km de la côte en 2017.

Cette éolienne témoigne de l'implantation d'acteurs du monde de l'énergie sur les

zones en reconversion du Grand port maritime de Marseille (GPMM). Ainsi, l'association Piicto a-t-elle été créée fin septembre pour développer une plate-forme industrielle et d'innovation sur la zone industrialo-portuaire de Fos (secteur Caban-Tonkin). Ces 1 200 ha accueillent de nouvelles activités industrielles, éner-

gétiques et d'innovation, par exemple un incubateur de démonstrateurs centré sur la transition énergétique. Piicto regroupe le GPMM, propriétaire et aménageur, et neuf industriels. L'objectif est de redévelopper le secteur tout en favorisant la synergie entre partenaires, que ce soit en énergie, services ou produits.

### → 360 millions d'euros

L'aménagement de Piicto fait partie des priorités du projet stratégique du port de Marseille-Fos (en cours d'examen) qui prévoit d'investir 360 millions d'euros d'ici à 2018 avec des partenaires. Au programme : diversification énergétique, aménagement de terminaux passagers, accueil des navires à conteneurs de 16 000 EVP, terminal de transport combiné avec le rail, etc. ■

## ÉNERGIES RENOUVELABLES EN PROGRESSION

Les énergies renouvelables représentent 20% de la consommation électrique, a précisé la ministre de l'Écologie au colloque du Syndicat des énergies renouvelables (SER), le 12 février.

À ce colloque (1 200 personnes à l'Unesco, Paris), Ségolène Royal a indiqué que 212 territoires à énergie positive venaient d'être désignés. Elle a annoncé que le tarif de rachat de l'électricité solaire sera revalorisé et que le rapport sur l'autoconsommation d'énergie venait de sortir.

Les interférences entre éolien et défense nationale - brouillage de radars et survol à basse altitude - devront être conciliés.

Les appels d'offres d'éolien offshore pourront passer par du dialogue compétitif. Enfin, la ministre a installé le comité national biogaz le 24 mars.



© GREGORY BRANDEL/GRDF

À Sourdon (Seine-et-Marne), 10 000 tonnes de déchets agricoles vont produire 11 GWh/an de biogaz injecté dans le réseau GRDF.

## ÎLE 100% ÉLECTRICITÉ RENEUVELABLE

El Hierro, île du sud-ouest de l'archipel des Canaries, a reçu un trophée lors du colloque annuel du Syndicat des énergies renouvelables, en février. Son électricité est produite par cinq éoliennes d'une puissance totale de 11,5 MW, assistées d'une centrale hydroélectrique à station de transfert d'énergie par pompage (Step), d'une puissance similaire.

Quand l'éolien fournit trop d'électricité, le surplus sert à pomper l'eau d'un réservoir situé en aval de la Step et à la remonter dans un bassin supérieur dont l'eau sera turbinée en cas de besoin. Ces deux productions réduisent de 8 millions d'euros la facture de fioul qui alimentait une vieille centrale.

L'autonomie de l'île (8 000 habitants permanents) pourra être atteinte par l'énergie solaire et la récupération d'huiles usagées, notamment pour faire marcher des voitures à l'électricité ou au biodiesel.

## SMARTS GRIDS TRANSNATIONAUX

L'appel à projets "Era-Net Smart Grids Plus" vise à renforcer la coopération entre pays de l'Union européenne sur les réseaux intelligents.

Les smart grids contribuent au meilleur équilibre entre besoins énergétiques et production d'énergie notamment renouvelable, ce qui va dans le sens de la transition énergétique en France.

Les consortiums formés en avril doivent remettre leur projet définitif début juin. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie dispose de 3 millions d'euros de subventions pour l'opération.

## SIX PROJETS POUR DÉVELOPPER LES ÉNERGIES MARINES



© GEOCEAN

Pelle-fraise sous-marine, une des solutions étudiées par Geocean dans le cadre de Pile & Tide.

Six projets ont été sélectionnés suite à l'appel à manifestation d'intérêt visant à faciliter le déploiement des énergies marines renouvelables (briques et démonstrateurs) des ministères de l'Écologie et de l'Économie. D'un montant total de 93,5 millions d'euros, ils recevront une aide de 33,3 millions d'euros des investissements d'avenir. D'une durée de deux à quatre ans et demi, ils ont commencé en 2013 ou 2014.

Pile & Tide (fondation et marée) est dédié à la préparation des fonds marins pour les fondations d'hydrolienne (énergie des courants). Le forage ne peut normalement se réaliser que dans les deux heures d'étales entre deux marées.

Le projet de quatre ans coordonné par Geocean vise à développer une machine capable de fonctionner en dehors de cette fenêtre, ce qui devrait réduire le coût de l'opération. Elle sera de 300 kW contre 75 kW pour les pelles sous-marines actuelles.

Geocean, qui identifie les solutions possibles, est la filiale maritime du groupe Entrepose (Vinci). Elle est associée à Mojo Maritime France avec l'expertise de deux laboratoires de recherche, M2C en Basse-Normandie et 3SR en Rhône-Alpes, et trois fabricants d'hydroliennes : Alstom Hydro France, Tidalys et Bluewater. Le prototype sera testé en mer au Raz Blanchard (Manche).

### → Fondation flottante en béton

Prismer coordonné par Astom est un système d'interconnexion et de transformation destiné à regrouper la production

d'électricité d'une ferme d'hydroliennes. Ce nœud limite à un câble le raccordement à terre.

Oceagen concerne les éoliennes flottantes, notamment celles installées au large là où les gisements de vent sont les meilleurs mais où la profondeur écarte toute fondation au fond de la mer. Ideol développe le concept d'une fondation flottante portant l'éolienne. C'est un anneau carré en béton (Bouygues TP) maintenu en place par des chaînes d'ancrage. Le démonstrateur pourrait être installé en 2015 au large du Croisic (Loire-Maritime). L'Ifsttar<sup>(1)</sup> se charge des essais de qualification des composants qui, à terme, seront fabriqués en série.

Toujours pour l'éolien éloigné de la côte, Sea Reed conduit par DCNS envisage d'installer une éolienne existante (Haliade 150 d'Alstom), après adaptation, sur un flotteur semi-submersible.

### → Conduite d'aspiration d'eau profonde

DCNS coordonne aussi le projet Marlin. Il s'agit de résoudre deux points de l'énergie thermique des mers, production d'électricité sur la différence de températures entre surface et fond, qui convient en particulier dans les îles, ici la Réunion et la Martinique. Il s'intéresse à la conduite d'aspiration d'eau profonde (froide) et aux échangeurs thermiques. DCNS envisage 25 centrales de 450-650 kW sur dix zones d'ici à 2030. Partenaires : Ifremer et France énergies marines. Enfin, SeaTC touche les génératrices d'électricité immergées liées aux hydroliennes et à l'énergie houlomotrice. Il entend mutualiser les fonctions connexion par induction et élévation de la tension afin de diviser par trois le coût de connexion tout en gardant un rendement élevé, en protégeant de la corrosion y compris par les organismes vivants, et en s'affranchissant de la météo lors d'interventions.

### En savoir plus sur :

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr), rubrique *Entreprises et monde agricole*, *Innover-se développer puis Investissements d'avenir et enfin Projets lauréats*. ■

(1) Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.



Ideol coordonne le projet Oceagen pour valider une fondation flottante en forme d'anneau en béton et ancree.

© IDEOL



## 2014 : LES LOUEURS ONT TIRÉ LE MARCHÉ DES ENGIN DE CHANTIER VERS LE HAUT

Il s'est vendu 31 100 machines de bâtiment et travaux publics en 2014<sup>(1)</sup> contre 29 757 en 2013, soit 4,5% de mieux, selon le Syndicat des entreprises internationales de matériels de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage (Seimat). La croissance du chiffre d'affaires est du même ordre, à 2,7 milliards d'euros<sup>(2)</sup>. Cette relative bonne performance résulte d'une hausse du carnet de commandes fin 2013 et au 1<sup>er</sup> trimestre 2014 suivie d'un ralentissement. Malgré les difficultés, une partie du parc a dû être renouvelée. À l'inverse, 2015 s'annonce morose au 1<sup>er</sup> semestre avec peut-être une perspective de reprise ensuite, la tenue du salon Intermat à Paris pouvant y contribuer. Toutefois, comme toutes les fédérations du BTP prévoient une baisse de leur activité, le marché des matériels risque de reculer de 10% voire de 15%.

### → Matériel LGV d'occasion

L'évolution du volume des ventes varie selon les familles d'engins. En terrassement, les pelles à chenilles de plus de 12 tonnes montent de 8% en 2014 par rapport à 2013. Les chargeuses sur pneus de plus de 5,5 tonnes, de 10%.



Le Seimat va créer une catégorie engins de manutention de déchets. Ici, pelle-pince JCB qui peut se soulever à hauteur d'un conteneur.

Les machines dédiées aux travaux de ligne à grande vitesse arrivent sur le marché en occasion.

Les loueurs se sont dotés de matériels compacts et d'engins routiers, ce qui pousse les petites chargeuses sur pneus de 9%, les midipelles (6-12 t) de 12%, les minipelles de 9% et les chargeuses compactes, de 8%. Ils ont aussi acheté des compacteurs routiers (+21%).

Les entreprises du secteur renouvellent aussi, en témoigne la hausse de 14% des

finisseurs. Les nacelles se sont bien vendues (+15%), à destination des loueurs. De nouvelles familles d'engins apparaissent. Celle de manutention des déchets fera l'objet d'une catégorie spécifique dans les chiffres 2015 du Seimat. Celle d'entretien des voies ferrées devrait être stimulée par les sommes allouées à ces travaux. ■

<sup>(1)</sup> Vente des constructeurs aux loueurs ou en direct, hors ventes par les concessionnaires.

<sup>(2)</sup> Cf. bilan Ficome, actualité Travaux mars 2015.

## ALSTOM LIVRE MÉTROS ET TRAINS

Alstom a été désigné pour livrer 217 rames de métro en Ile-de-France pour 2 milliards d'euros sur quinze ans. Dans l'immédiat, elle a signé deux commandes de 72 rames pour plusieurs lignes de métro parisiennes. Ce métro automatique sur pneus est conçu pour coûter moins cher sur son cycle de vie. Son énergie de freinage est récupérée et réinjectée dans le réseau.

Par ailleurs, Alstom a annoncé qu'il avait vendu dix trains Régiolis à la Région Provence/Alpes/Côte-d'Azur avec mise en service en avril sur la ligne Marseille-Avignon puis sur Avignon-Carpentras plus au nord.

Le Régiolis, de 56, 72 ou 110 m de long, a une motorisation électrique et thermique. Il est doté d'un comptage automatique des passagers. Chaque place dispose d'une liseuse et d'une prise. Des espaces sont réservés aux vélos. D'autres régions l'ont déjà adopté ou commandé. En 2015, ce sera le tour de la Franche-Comté et de la Haute-Normandie.

## RÉNOVATION DE LA GRANDE ARCHE



Le toit de la Grande arche va rouvrir au public.

La Grande arche de la fraternité à la Défense (Hauts-de-Seine) va être rénovée. Inaugurée en 1989, elle a besoin d'être réhabilitée, en particulier pour redonner l'accès à son toit.

Eiffage a signé un bail emphytéotique administratif de vingt ans en décembre. Le groupe investit et, en échange, touche un loyer et gère les espaces publics sur cette période. Les ascenseurs panoramiques s'arrêtaient dès qu'il y avait trop

de vent. Un nouvel ascenseur, insensible aux bourrasques, va être ajouté.

La terrasse sera de nouveau accessible au public avec un belvédère et une promenade.

### → 3 fois moins d'énergie consommée

La rénovation comprend la reprise des façades, le désamiantage, le réaménagement et la modernisation des bureaux en paroi sud occupée par les ministères de

l'Écologie et du Logement. Elle est confiée à Eiffage Construction avec le cabinet d'architectes Valode et Pistre, tandis qu'Eiffage Concessions avec City One anime et gère les espaces publics. À terme, le bâtiment consommera trois fois moins d'énergie, à 100 kWh/m<sup>2</sup>/an au lieu de 300.

L'opération de 192 millions est financée par Eiffage en fonds propres pour 14 millions et par un emprunt. ■



Le Régiolis commence à rouler entre Marseille et Avignon.

### TUNNEL À ANVERS

La liaison ferroviaire Liefkenshoek dans le port d'Anvers (Belgique), commencée en 2008, a été inaugurée fin 2014 suite à de longs tests. De 16,2 km de long, elle comprend des sections en tranchée sur 4,27 km, un tunnel de 1,2 km rénové et un double tunnel foré sur 6 km. Reliant les deux rives de l'Escaut, elle libère des voies pour les trains de banlieue et désengorge les routes.

LocoRail qui réalise les travaux en partenariat public privé de trente-huit ans (840 millions d'euros), regroupe CFE, Vinci Concessions et Bam PPP-PGGM.



© JEAN-YVES BOVIN SOREL

Tunnel entre les 2 rives de l'Escaut.

### TCHERNOBYL : 2° LEVAGE

La seconde partie de l'enceinte de confinement de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine) a été levée à 108 m à côté de la première. Ces deux demi-arches sont construites par Novarka, filiale de Vinci Construction Grands Projets et de Bouygues Travaux Publics. Une fois réunies, elles seront équipées puis glissées au-dessus du sarcophage du réacteur accidenté (1986). L'ouvrage clos doit être livré fin 2017.



© NOVARKA

Les 2 arches sont à bonne hauteur.

## EGIS EN APPUI DE GRANDS PROJETS



© BNT COMMUNICATION

Grâce à la jetée de 3 km, le port de Calais sera prêt en cas d'élévation de la mer en 2100.

Le projet Calais Port 2015 comprend la construction d'une jetée de 3 km de long capable d'absorber l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100. La première phase du développement du port nordique inclut également un bassin en eau profonde de 90 ha avec trois postes à ferries de 240 m de long, un nouveau terminal transmanche et des terre-pleins rouliers (parking de véhicules débarqués) adossés à la plate-forme de ferroutage. La seconde phase porte sur d'autres aménagements pour les ferries et les navires rouliers (rampe de chargement).

Ces travaux doivent permettre de capter une part de l'augmentation du trafic transmanche évaluée à +40% en 2030. La Région Nord/Pas-de-Calais a confié le 19 février la délégation de service public des ports de Calais et Boulogne à un groupement constitué de la Chambre de commerce et d'industrie de la Côte d'Opale (CCICO), de CDC Infrastructure et de Meridiam.

Egis, à travers Ports & Littoral, a aidé la CCICO à préparer ce dossier.

Egis, filiale à 75% de la Caisse des dépôts, a aussi apporté son assistance à maîtrise d'ouvrage pour la partie conception-réalisation du développement du port de Calais. Il avait déjà travaillé sur le schéma d'aménagement et les études d'avant-projet sommaire.

#### → Bim à Ryad

Par ailleurs, le groupe apporte son savoir-faire sur plusieurs projets au Moyen-Orient. Il est consultant pour Almbani, chargé de la rénovation-extension de l'aéroport de Riyad (Arabie Saoudite). Il mène les phases d'études en utilisant un système Bim (Bâtiment et informations modélisés) pour la première fois en aéroportuaire.

L'Autorité générale de l'aviation civile veut porter la fréquentation de l'aéroport de 20 millions de passagers par an à 35. Le fret bénéficie de nouvelles aires de stationnement. Egis a également signé un contrat d'assistance technique à l'explo-

itation et la maintenance d'équipements de piste avec Saudi Arabian Trading and Construction Company.

À Doha (Qatar), la joint-venture Louis Berger Egis Rail prend en charge le management de projet en Bim du prolongement aérien de deux lignes de métro, soit 16 km et 6 stations à terminer en 2018. Grâce aux travaux associés - 60 km en souterrain, 20 stations - Qatar Railways reliera l'aéroport aux stades de la coupe du monde de football en 2022 et aux centres d'affaires.

#### → Tramway alimenté en station

Enfin, Villes & Paysages, filiale d'Egis, est impliquée dans le groupement (Egis mandataire) de maîtrise d'œuvre d'une ligne de tramway de plus 16 km à Luxembourg, entre l'aéroport et le futur stade de football à la Cloche d'Or.

Particularité technique : le tramway est alimenté en électricité par injection rapide par le sol à l'arrêt en station (biberonnage) sur une section de 3,6 km qui n'a pas de ligne aérienne de contact. ■



© GAUTIER MAIN

Station d'épuration de Doha (Qatar) avant extension.

### EAUX TRAITÉES ET RECYCLÉES

La capacité de traitement de la station d'eaux usées de Doha Ouest (Qatar) va être portée de 175 000 m<sup>3</sup>/jour à 280 000. L'usine, construite par Degrémont, date de 2010. Egis est chargé de suivre la conception et les travaux.

L'Autorité des travaux publics du Qatar (Ashghal) a opté pour un traitement biologique secondaire et tertiaire par ultrafiltration.

Ainsi, l'eau peut-elle être recyclée et servir à l'irrigation d'espaces verts, de cultures maraîchères et à recharger les nappes souterraines.





### Tchad

#### Travaux d'aménagement des berges du Chari à N'Djamena

Terre Armée France réalise en sous-traitance de Sogea Satom Tchad les travaux d'aménagement des berges du Chari sur le site du « Grand Hôtel » à N'Djamena, capitale du Tchad.

Sogea Satom Tchad vient d'achever la première phase, commencée en Avril 2014, de la construction d'un mur de 840 m de long et 8,25 m de haut dans le centre de N'Djamena pour une surface d'environ 7 000 m<sup>2</sup>.

Ce mur en écailles TerraClass® utilisant des armatures synthétiques Haute Adhérence de type GeoStrap® 5 HA protège le site du « Grand Hôtel » des inondations de la rivière du Chari.

Ces armatures, constituées de faisceaux compacts de fibres polyester haute ténacité protégés par une enveloppe de polyéthylène, présentent des avantages tels que :

#### La durabilité

Elles sont insensibles à la présence de sels dans les remblais et sont particulièrement adaptées aux applications hydrauliques.

#### La robustesse

La présence d'un gainage continu en polyéthylène assure une protection très efficace contre l'endommagement à l'installation.

Leur fabrication est soumise à un contrôle qualité rigoureux depuis la qualification des matières premières jusqu'au contrôle du produit fini. Le marquage CE est un gage supplémentaire de qualité.

Le niveau des plus hautes eaux atteint 80% de la hauteur du mur. La prestation d'études de Terre Armée France inclut l'étude de la substitution du sol de fondation et la protection du mur contre l'affouillement par des enrochements.

Ce projet fait suite à un premier projet similaire de 9 000 m<sup>2</sup> dont la construction s'est achevée en 2014.



280 avenue Napoléon Bonaparte  
92500 Rueil-Malmaison  
Tél. +33 1 47 76 81 10 - Fax +33 1 47 76 78 71  
www.terre-armee.fr



## DES GÉOTEXTILES RENFORCENT LA PLATE-FORME D'UN TRAM-TRAIN



Sur 200 m, les mouvements du sol seront détectés par ce géotextile porteur de fibre optique.

Des géotextiles sont mis en œuvre dans le sol de la ligne de tram-train qui reliera Sartrouville (Yvelines) à Noisy-le-Sec (Seine-Saint-Denis) en 2017, soit 28 km au nord de Paris et 14 gares. Appelée Tangentielle légère Nord, ce morceau de ceinture ferroviaire vise à réduire la circulation routière. Il est interconnecté

aux lignes de RER et de tramway. Il donne lieu à élargissement de ponts, suppression de passages à niveau et pose d'écrans acoustiques pour protéger les riverains. Le chantier a commencé sur le tronçon central de 11 km entre Epinay-sur-Seine et Le Bourget, deux communes de Seine-Saint-Denis. L'opération comprend la création de deux voies ferrées parallèlement à une de fret existante. Rappelons qu'un tram-train est plus léger qu'un train et a une caisse plus étroite. L'écartement des rails est le même.

Le profil des roues l'autorise à rouler indifféremment sur rail ferré ou sur voie de tram.

Le sol du tronçon en travaux de la tangentielle comprend des zones d'incertitude dues à la présence de gypse susceptible de se dissoudre avec l'eau, d'où la formation de cavités souterraines<sup>(1)</sup> puis de fontis en surface.

Dans les zones à risque d'anomalies,

a été incorporé dans le sol un géosynthétique dit parachute. Sa tension reprend les efforts du remblai et du trafic en cas de cavité et retarde l'affaissement du terrain et de la voie. Pour ce faire, 15 000 m<sup>2</sup> de Tencate Geolon à haute résistance ont été posés sur la Tangentielle Nord.

#### → Cavité jusqu'à 1,5 m

Un tronçon de 200 m où le risque de cavité a été estimé moins élevé - niveau moyen -, a été équipé d'un dispositif de surveillance. Des bandes de géotextile porteur de fibre optique ont été installées parallèlement aux deux voies. Elles détectent les mouvements de sol dus à des cavités jusqu'à 1,5 m de diamètre.

La SNCF a confié l'implantation de ces renforcements à Vinci Construction Terrassement et le contrôle de la mise en œuvre à Egis Géotechnique. ■

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux octobre 2013, page 13.

## RÉSERVOIRS À PRÉCONTRAINTE

*Le procédé Vasio de construction de réservoirs en béton tire ses qualités de l'assemblage des panneaux par précontrainte.*

*La précontrainte par post-tension donne au réservoir une meilleure étanchéité.*

*La mise en tension se fait après coulage du radier, ce qui améliore la jonction avec les voiles.*

*Alliée à la préfabrication, elle raccourcit les délais du chantier et ses nuisances. Elle donne un résultat plus esthétique.*

*Ces réservoirs, circulaires, ovales ou rectangulaires, peuvent se combiner entre eux.*

*Le Vasio du groupe Vigier Entreprises a été un des deux finalistes du prix de l'innovation, catégorie BTP, du Salon des maires.*





**Pieux - Palplanches - Estacades**  
**Ponts provisoires - Travaux Spéciaux**



1, rue de Folenrue - BP.248  
27202 Vernon Cedex - France

[www.leductp.com](http://www.leductp.com)  
tél : +33 2 32 51 74 97

## COUPER L'ÉCLAIRAGE

Afin de répondre à l'obligation d'éteindre l'éclairage des bâtiments publics entre 1 heure et 7 heures du matin, ceci pour lutter contre la pollution lumineuse, voici un dispositif autonome de coupure automatique. L'IDS IDR Night fonctionne sans être relié à une télégestion. Sont intégrés quatre scénarios de coupure, selon la saison et la durée d'extinction souhaitée. Il est possible de désactiver l'interdiction en agissant localement ou en tête de ligne.

## ISOLANTS NATURELS THERMIQUES ET ACOUSTIQUES



Échantillon de l'isolant en laine de chanvre posé en faux-plafond du magasin Auchan à Sens (Yonne).

Disposer d'un isolant ne laissant ni sortir la chaleur ni entrer le bruit permet de traiter deux problèmes d'un coup. Dans quelles conditions les maté-

riaux d'origine naturelle peuvent-ils combiner plusieurs fonctions avec l'avantage de ne pas émettre de substances chimiques comme il arrive avec ceux d'origine synthétique ? s'est demandé Emmanuel Gourdon qui a dirigé des recherches au Laboratoire génie civil et bâtiment (LGCB) de l'École nationale des travaux publics de l'État avec le Centre lyonnais d'acoustique (Université de Lyon) et le Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes.

Ces recherches ont reçu un décibel d'argent lors de la 16<sup>e</sup> édition des Décibels d'or organisés par le Conseil national du bruit, fin 2014.

Pour éveiller les caractéristiques acoustiques de matériaux dits biosourcés, il convient d'optimiser ces derniers. Auparavant, il faut bien connaître les phénomènes de dissipation qui y siègent et introduire les paramètres de mise en œuvre.

« L'objectif de ces recherches est d'optimiser le processus de fabrication de ces matériaux (densité, compactage, formulation, etc.) en fonction de leur utilisation pour le bâtiment ou les murs anti-bruit, écrit Emmanuel Gourdon. Elles ont permis de développer des solutions innovantes comme les bétons de chanvre, les mousses de tanin multifonctionnelles, les laines de chanvre, de lin, etc. »

### → Matériau compressible ?

Le LGCB a cherché à répondre aux problématiques liées à l'utilisation de matériaux naturels. Par exemple : que deviennent les performances si le matériau est comprimé pendant le transport pour abaisser son coût ?

Dans le cadre de ces recherches, la galerie marchande Auchan à Sens (Yonne) a été dotée d'un faux-plafond en laine de chanvre, acoustique, résistant au feu et à la flexion, et isolant thermique. ■



## UN DRONE EXAMINE L'ÉTAT D'UN BÂTIMENT INDUSTRIEL



© REDBIRD

Le drone a relevé près de 600 millions de points sur les façades du bâtiment central dit cathédrale.

Un drone a été utilisé pour connaître l'état des façades d'un ancien site textile à Tourcoing (Nord). But : savoir à quel coût le bâtiment central qualifié de cathédrale pouvait être conservé et réhabilité. Impossible d'effectuer un relevé à pied par manque de recul le long des parois. Bâtiments à toiture à redents (shed) et hangars se sont accumulés au fil du temps.

La filature de laine et l'usine de bonneterie, en activité de 1896 à 2004, couvrent 3,5 hectares en centre-ville. En 2013, la

Communauté urbaine de Lille confie à l'Établissement public foncier (EPF) Nord/Pas-de-Calais l'acquisition du site, le portage foncier et la démolition d'une partie des bâtiments.

La collectivité le destine à des activités économiques.

Vu la difficulté d'accès des façades, l'EPF opte pour un diagnostic par drone. Celui-ci s'approche des murs et prend près de 2 000 photos, relevant ainsi 588 millions de points altimétriques. Ceci en une journée pour 750 m de façade, fin 2014.

L'opérateur guide l'engin à partir d'une terrasse voisine et d'un écran de contrôle.

### → Données partagées

Le procédé donne une vue en trois dimensions géoréférencées, intégrable à des plans et cartes.

La modélisation peut être partagée avec la collectivité locale et la maîtrise d'œuvre. Grâce à la précision des données relevées, les travaux sont estimés au plus juste. Redbird, société opératrice du drone, l'utilisait pour la première fois en diagnostic de bâtiment. ■

## GRIMPÉE ASSISTÉE

L'Exolift est un système portable, motorisé, autonome (batterie), d'assistance à la montée et à la descente sur échelle de grande hauteur. Il fonctionne par adhérence sur une sangle. Celle-ci est fixée en haut de l'échelle puis positionnée sur le galet d'adhérence.

La personne se relie à la machine par l'anneau sternal de son harnais de sécurité. Avant de se faire assister, elle est pesée puis elle monte à son rythme, son poids étant "allégé" jusqu'à 80% par la machine. Selon Fixator, son fabricant, il faut deux fois moins de temps pour grimper ou pour descendre.

L'Exolift a remporté le prix Territoires innovation, catégorie Industrie dans le Maine-et-Loire, compétition organisée en Pays-de-la-Loire par le privé avec un soutien public dont celui de la Région.



© FIXATOR

La personne monte et descend deux fois plus vite.

## TRANSPORTS INTELLIGENTS EN TEST

La Commission européenne a accepté, fin 2014, de financer 50% de la première phase du projet Scoop - système de coopération pilote - coordonné par la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (ministère du Développement durable).

Destiné à explorer les systèmes de transports intelligents coopératifs (STI) dans l'Union européenne, Scoop est associé à des tests dans d'autres pays membres. Ces travaux aideront la Commission européenne (CE) à définir une feuille de route et une stratégie de développement des STI coopératifs.

La CE lance un appel à candidatures début 2015 pour une seconde phase en 2016-2018.

La première phase de Scoop, démarrée en 2014, prépare un déploiement national pour 2017. Évaluée à 13 millions d'euros, elle réunit État, collectivités territoriales et entreprises.

### → Cinq sites pilotes

Suite aux spécifications techniques, le projet est en phase études et de marché pour des tests sur cinq sites pilotes en Île-de-France, Bretagne, sur l'autoroute Paris-Strasbourg, à Bordeaux et sa rocade, et sur des routes départementales en Isère. Plus de 3 000 véhicules seront mis en communication avec 2 000 km de routes et de rues. Grâce à un STI, les véhicules communiquent avec la route et vice-versa. Des bornes situées le long de la voie captent les informations

émises en wi-fi. Le réseau de la téléphonie mobile est mis à contribution.

### → Moins de panneaux à message variable

Le but est de prévenir, aussi tôt que possible, de tout ce qui constitue un risque d'accident, d'améliorer la sécurité des ouvriers d'entretien et de fluidifier la circulation. Ainsi, les conducteurs peuvent-ils informer d'un obstacle, d'une voiture à contre-sens, etc. Les gestionnaires de route alertent sur les travaux, les accidents, les vitesses autorisées, les bouchons, etc. Ils peuvent aussi guider vers les parkings relais en lien avec les transports collectifs. Il s'agit aussi de remplacer les panneaux à message variable, les caméras et les boucles de comptage. ■





## MANILLES ROV

Van Beest B.V, fabricant de manilles Green Pin®, de crochets Excel® et d'accessoires pour câbles et chaînes, vient de compléter sa gamme de manilles Green Pin® avec l'introduction d'une manille Green Pin® Polar de largage ROV.

**Ce qui la rend unique :**

1. Corps de la manille peint en blanc pour la rendre visible en fonds sous-marins
2. Gorge sur la tête de l'axe afin de permettre la mise en place d'un câblot pour lier l'axe au corps de la manille
3. Absence de filetage sur l'axe qui ne se visse pas et qui tourne librement
4. Cette manille ROV est la seule manille de largage disponible sur le marché qui garantit une charge de rupture minimale en utilisation dans l'axe et latéralement. En cas de charge latérale, le facteur de réduction qui s'applique est le même que celui des manilles Green Pin® Standard
5. Fourni sans câblots. Mise en place des câblots selon vos propres besoins

Van Beest B.V. a des sociétés aux Pays-Bas, en Allemagne, en France et aux USA et un réseau de distributeurs dans 80 pays à travers le monde.





Fabricant aussi de





E-mail: [sales@vanbeest.fr](mailto:sales@vanbeest.fr)

[www.vanbeest.fr](http://www.vanbeest.fr)

Membre de Van Beest International

## PRÉVENTION DU RISQUE ÉLECTRIQUE

Ce manuel de prévention du risque électrique développe les opérations sur les ouvrages publics de distribution (BT et HTA) et les installations extérieures (éclairage public, installation photovoltaïque, etc.). Conformément au document UTE C 18-510-1, l'employeur doit fournir à toute personne habilitée aux opérations

électriques, un manuel relatif aux risques et à la prévention.

L'ouvrage est abondamment illustré de schémas.

De format étroit et à couverture rigide, il peut s'utiliser en extérieur.

[www.comstedition.com](http://www.comstedition.com) ■



## DÉTECTION AUTOMATIQUE D'INCENDIE

Le référentiel Apsad R7 sur les règles d'installation des systèmes de détection automatique d'incendie fait l'objet d'une nouvelle édition. Il est destiné à ceux chargés d'un projet de conception ou d'installation.

Le référentiel définit les exigences techniques minimales de l'analyse des risques à la maintenance.

Il propose une méthode globale incluant le zonage, l'implantation du matériel et l'exploitation.

Le CNPP qui le publie propose également une nouvelle version du référentiel Apsad R1 sur l'extinction automatique à eau, type sprinkler.

[www.cnpp.com](http://www.cnpp.com) ■





## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 2 AU 4 JUIN

##### Ville sans tranchée

Lieu : Chatou (Yvelines)  
www.fstt.org

#### • 3 AU 5 JUIN

##### Salon de la prescription

Lieu : Tours  
www.salondelaprescription.com

#### • 7 AU 10 JUIN

##### Excavation rapide et creusement de tunnels

Lieu : Nouvelle-Orléans (États-Unis)  
www.retc.org

#### • 9 AU 11 JUIN

##### Preventica, salon pour la sécurité des chantiers

Lieu : Toulouse  
www.preventica.com

#### • 16 AU 18 JUIN

##### Expobiogaz

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.expo-biogaz.com

#### • 17 ET 18 JUIN

##### Parkopolis (stationnement et mobilité)

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

#### • 18 ET 19 JUIN

##### SEC 2015, retrait et gonflement des sols, climat et construction

Lieu : Marne-la-Vallée (Ifsttar)  
http://sec2015.fr

#### • 23 AU 25 JUIN

##### Ponts : 16<sup>e</sup> conférence européenne

Lieu : Edimbourg (Écosse)  
www.ecspublications.com

#### • 25 AU 27 JUIN

##### Journées professionnelles de la construction

Lieu : Marseille  
www.capeb.fr

#### • 1<sup>er</sup> AU 3 JUILLET

##### Grands ponts multi travées

Lieu : Porto (Portugal)  
http://paginas.fe.up.pt/~mslb2015

### FORMATIONS

#### • 15 ET 16 JUIN

##### Construction et aménagement durables

Lieu : Paris  
http://formations-lemoniteur.fr

#### • 22 AU 24 JUIN

##### Renforcement et amélioration des sols de fondation

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

#### • 23 AU 25 JUIN

##### Démantèlement des installations nucléaires

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

#### • 29 ET 30 JUIN

##### La gare : fondamentaux techniques, dimensionnement et coûts

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

#### • 30 JUIN ET 1<sup>er</sup> JUILLET

##### Exécution des travaux de réparation d'ouvrages d'art

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

### NOMINATIONS

#### ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE :

Martine Faure, députée de Gironde, est chargée par le ministère de la Culture d'élaborer un nouveau dispositif pour l'archéologie préventive.

#### ATEE :

Christian Deconninck est président de l'Association technique énergie environnement.

#### BOUYGUES CONSTRUCTION :

Philippe Bonnavé devient PDG à la suite d'Yves Gabriel.

#### CCI ÎLE-DE-FRANCE :

la Chambre de commerce et d'industrie de la région parisienne se dote d'une mission Grand Paris. Elle la confie à Loïc Chouin.

#### CEREMA :

Gaël Perdriau (maire de Saint-Étienne) a été élu président du conseil d'administration du Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

### DIALOGUE ENVIRONNEMENTAL :

Alain Richard préside la commission spécialisée sur la démocratisation du dialogue environnemental installée par la ministre de l'Écologie, chargée de faire des propositions au Conseil national de la transition énergétique, fin mai.

#### GRAND PARIS :

Catherine Perenet (Caisse des dépôts) et Bernard Cathelain rejoignent le directoire de la Société du Grand Paris.

#### POLYTECHNIQUE :

Dominique Rossin devient adjoint du directeur de l'enseignement et de la recherche, chargé de coordonner les différentes formations de l'école.

#### RATP :

Monique Saliou succède à Jeanne Seyvit à la présidence de la commission des marchés de la Régie.

#### SANEF :

Odile Georges-Picot a été nommée directrice générale déléguée du groupe Société des autoroutes du Nord et de l'Est de la France.

#### SPIE :

Jean-Philippe Riehl a été nommé directeur du contrôle des risques et de l'audit interne.

#### TRANSITION ÉCONOMIQUE :

Corinne Lepage, ex-ministre de l'Environnement, est chargée d'une mission sur la transition économique en soutien de l'économie verte par la ministre de l'Écologie.

#### TRANSITION ÉNERGÉTIQUE :

Bertrand Delcambre, ambassadeur du numérique dans le bâtiment, préside le plan de transition énergétique, mission confiée par la ministre du Logement.

## BALINEAU

### FONDACTIONS SPÉCIALES ET TRAVAUX NAUTIQUES

Fonctionnement d'un chantier

- Pieux battus
- Palplanches
- Pieux forés
- Tarière continue
- Parois moulées
- Améliorations des sols
- Travaux en sites fluvial et maritime

Station de construction de ponts pour grands ballons

**Métropole**  
Siège social et bureaux :  
3 avenue Paul Langevin  
ENDORA Park - CS 30039  
33605 PESSAC cedex  
tél. : +33 (0) 5 57 89 16 78  
fax : +33 (0) 5 56 07 34 78  
balineau@balineau.fr

**Antilles :**  
Rue Nobel - Z.I. de Jarry  
BP 2103  
95195 JARRY cedex  
tél. : +590 (0) 590 32 59 30  
fax : +590 (0) 590 26 89 44  
balineau.antilles@balineau.fr

www.balineau.com



# LA NUMÉRO 7 DES PONTS ET CHAUSSÉES NOUS ENTRAÎNE DANS UN TOURBILLON EXALTANT

CLAUDE BESSIÈRE EST INCONTESTABLEMENT UNE FIGURE DU MONDE DE LA CONSTRUCTION, CATÉGORIE FEMMES D'EXCEPTION DANS CE MILIEU LONGTEMPS RÉSERVÉ AUX HOMMES. SA TRAJECTOIRE COMBINE DYNAMISME ET FIDÉLITÉ. DYNAMISME D'UN ESPRIT AGILE, AVIDE D'INVENTIONS, FIDÉLITÉ À LA GRANDE MAISON GTM ET À SES PROLONGATIONS, OÙ SON TALENT CONTINUE DE S'EXPRIMER. **ENTRETIEN AVEC CLAUDE BESSIÈRE, MEMBRE DU COMITÉ DE DIRECTION D'INGEROP, EN CHARGE DE L'INNOVATION.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MICHEL MORGENTHALER



1  
© DR

« POUR NOUS, INGÉNIEURS, LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX N'EST PAS UN PRÉTEXTE À MATHÉMATIQUES, MAIS UNE TECHNIQUE QUI UTILISE DES OUTILS MATHÉMATIQUES, PRESQUE TOUJOURS ÉLÉMENTAIRES, EN VUE D'OBTENIR DES RÉSULTATS NUMÉRIQUES PERMETTANT DE CONSTRUIRE EN SÉCURITÉ. »

JEAN COURBON 1913-1986

**Claude Bessière, pourquoi « numéro 7 » ?**

Lorsque j'ai fait mes études, beaucoup d'écoles d'ingénieur étaient encore fermées aux femmes. À l'École des Ponts, ma promotion 1969 a été la première comprenant trois femmes et j'étais la septième depuis sa création en 1747 !

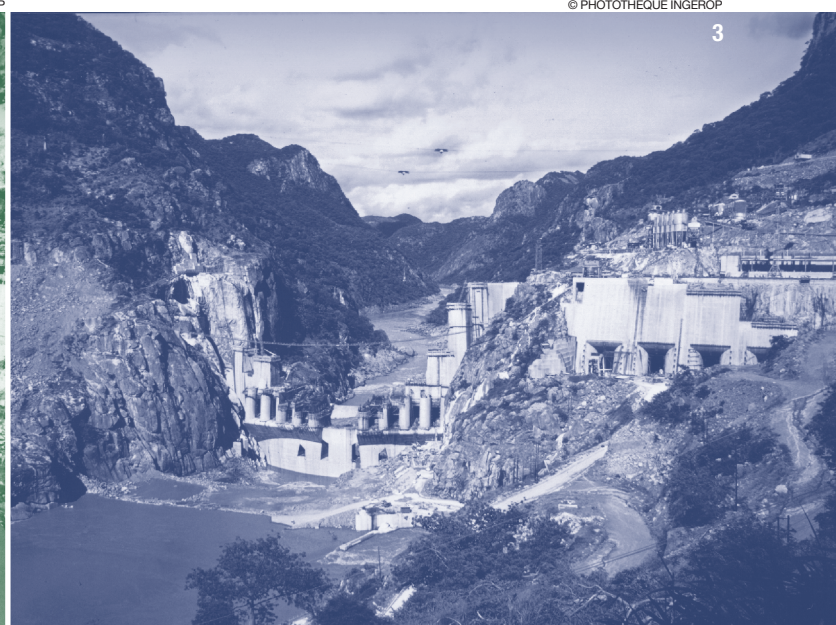
**En matière d'égalité des sexes, quelques progrès ont été accomplis depuis votre entrée dans le métier. Où en êtes-vous aujourd'hui ?**

Depuis près de vingt ans je suis en charge de l'innovation chez Ingerop, et maintenant également membre du



© PHOTOTHÈQUE INGEROP

2



© PHOTOTHÈQUE INGEROP

3



1- Claude Besière, membre du comité de direction d'Ingerop, en charge de l'innovation.

2- Barrage de Cahora Bassa (Mozambique) - passage de la crue du Zambèze à travers la voûte en construction.

3- Barrage de Cahora Bassa (Mozambique) - orifices provisoires laissés dans la voûte en construction.

4- Barrage de Cahora Bassa (Mozambique) - orifices provisoires rebouchés en fin de chantier.

5- Extension de la centrale de Song Lou Lou (Cameroun) - terrassements rocheux au pied du barrage en eau.

## INGEROP EN BREF

Depuis le milieu des années 2000, le groupe Ingerop poursuit une politique prudente et régulière de croissance externe.

Fin 2014, les effectifs du groupe Ingerop s'élèvent à 1 580 collaborateurs, dont plus de 200 à l'international, en Afrique australe, au Maghreb, en Amérique latine, en Espagne et en Suisse.

Son chiffre d'affaires à fin 2014 dépasse les 190 M€, en progression régulière. 16% de l'activité est réalisée à l'international, soit à l'export, soit directement depuis ses implantations à l'international.



Comité de Direction de ce groupe d'ingénierie, totalement indépendant, d'environ 1 600 ingénieurs et techniciens. Je garde un pied dans l'opérationnel en continuant, parallèlement, à diriger des missions d'assistance technique à Maîtrise d'Ouvrage.

**GTM, entreprise créée en 1891 pour construire les égouts de Marseille et inventer par la même occasion le principe de la concession, a forgé une histoire et créé une lignée qui perdure**

**au-delà du dernier avatar qu'est sa fusion avec Vinci en 2000. La race des GTM n'est pas éteinte. On les appelle « les Verts » en référence à la couleur de leur étendard et de leur casque. Vous en êtes. Parlez nous de cet esprit maison et de vos pères spirituels.**

Pour ma part j'ai été embauchée avant même ma sortie de l'École par Seee, créée en 1962 par Francis Germain à partir d'équipes d'étude de GTM, et en particulier en provenance de l'ancien

service « chutes » qui avait beaucoup travaillé sur les aménagements du Rhin pour EDF et ceux du Rhône pour la CNR. Jean Courbon, éminent professeur de résistance des matériaux à l'École, était aussi directeur scientifique de GTM et de Seee.

J'ai eu la chance d'arriver dans cette équipe alors que le contrat pour la construction de l'aménagement hydroélectrique de Cahora Bassa sur le Zambèze au Mozambique (alors colonie portugaise) venait d'être signé par le Consortium International Zamco avec le

Ministère du Gouvernement portugais en charge de l'outremer. GTM était un des principaux partenaires de Zamco. J'ai très vite été mobilisée sur ce projet exceptionnel (barrage voûte de 170 m de hauteur - centrale souterraine équipée de 5 groupes de 415 MW) d'abord pour les études des installations de chantier, puis sur les études d'exécution des ouvrages principaux.

Le Directeur du Projet était François Lempérière (X45) (voir *Travaux* d'octobre 1975), auprès de qui j'ai appris énormément, bien sûr techniquement mais aussi humainement. Il avait su créer dans ses équipes de GTM International une dynamique de groupe qui a perduré de chantier en chantier.

Une de mes premières missions auprès de lui a été la mise au point des batardeaux de protection du chantier du barrage et de la dérivation provisoire du Zambèze (voir bulletin 48 de la CIGB - 1984 « Maîtrise de la rivière pendant la construction du barrage » - Annexe 5) (voir *Travaux* de février 1986).

Une des grandes originalités du projet a été de permettre le passage de la crue du Zambèze « à travers » le barrage en construction (figure 2) en évitant la mise en charge de la voûte grâce à des orifices provisoires (figure 3) rebouchés en fin de chantier (figure 4).

**Le chemin professionnel qui vous mène de Seee à Ingerop, passe notamment par de grands ouvrages hydrauliques disséminés à travers le monde. Vous avez un carnet de voyage digne d'un globe-trotter. Ces projets ont alimenté un nombre impressionnant d'articles dans *Travaux*.**

Après le Mozambique j'ai continué à travailler sur de grands projets de ▷

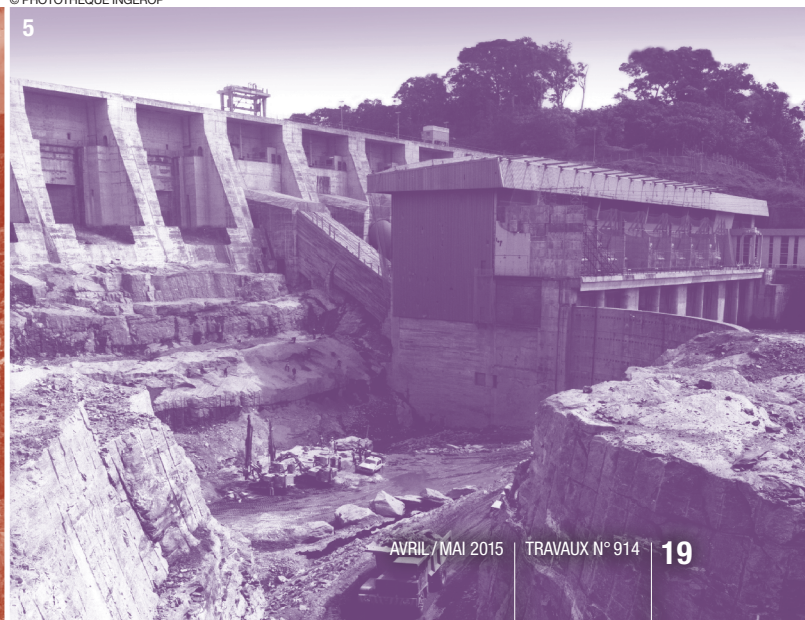
© PHOTOTHÈQUE INGEROP

4



© PHOTOTHÈQUE INGEROP

5





barrages et aménagements fluviaux, en parallèle pour GTM International et pour EDF :

- Pour GTM International : le canal de Jonglei sur le Nil Blanc au Sud Soudan (voir *Travaux* novembre 1982), le barrage de Mudhiq au sud de l'Arabie Saoudite ;
- Pour EDF dans le cadre de sa collaboration avec la Sonel au Cameroun sur les études de l'aménagement hydroélectrique de Song Lou Lou sur la Sanaga (voir *Travaux* novembre 1981 et mars 1982), puis en assistance de la Sonel pour la réalisation de l'extension de l'usine. Les travaux de terrassement rocheux exécutés au pied du barrage en eau et à proximité immédiate de la première tranche de l'usine en exploitation alimentant en électricité la ville de Douala (figure 5), ont fait l'objet d'une méthodologie très spécifique décrite dans un article publié par Razel (voir *Travaux* novembre 1986).

Nous avons également effectué une mission d'assistance technique auprès de la Sonel dans le cadre d'un bureau d'études intégré, pour la conception et la réalisation du barrage réservoir de la Mapé (voir *Travaux* novembre 1988), ouvrage contribuant à la régularisation du débit de la Sanaga.

J'ai d'ailleurs ensuite réalisé pour la Sonel la visite décennale du barrage tout début 1999.

À partir du début des années 1980, la technique du béton compacté au rouleau (BCR) a eu un impact très important sur la conception des barrages car permettant à la fois d'utiliser des matériaux de type remblais plutôt qu'agrégats et de résister à une submersion accidentelle ou programmée du barrage.

Avec François Lempérière nous avons travaillé sur des conceptions mixtes béton-remblai (voir Appendix E - bulletin 73 de la CIGB - 1989 « Économies dans la construction des barrages - Réflexions et suggestions »).

En parallèle EDF a retenu ce matériau pour la constitution du corps du barrage principal de Petit Saut en Guyane (voir *Travaux* mai 1991 et juin 1993). EDF nous a confié les études d'exécution du barrage principal et de la centrale hydroélectrique (figures 6 et 7). Dans un projet de barrage la gestion des crues est un élément essentiel et représente une part significative de la conception et du coût d'investissement. L'évaluation des crues de projet reste aléatoire (surtout avec les évolutions climatiques) et le non-fonctionnement des vannes s'avère une cause principale de rupture des barrages vannés. L'idée de transposer le concept de digue fusible en tant que déversoir de sécurité, en mettant au point des hausses d'abord submersibles puis fusibles, a alors été développée par François Lempérière au sein de GTM (voir *Travaux* mai 1991), ce qui a valu à l'équipe en charge de ce développement et dont je faisais partie de gagner le prix de l'innovation 1993 de la FNTF.

#### Et à part les barrages ?

La réalisation des grands aménagements hydroélectriques est une opération éminemment capitalistique. Même après le premier choc pétrolier, il s'est avéré plus facile de financer l'exploitation de champs offshore même profonds, plutôt que de développer des barrages dont l'impact sur l'environnement était beaucoup plus immédiat et visible (déplacements de population, conséquences locales sur le climat, etc.).

L'invasion du Koweït en 1990 a donc débloqué la construction d'un certain nombre de plateformes offshore.

J'ai été personnellement impliquée sur deux d'entre elles dont la structure était en béton très fortement armé (destinée au champ d'Hibernia au large de Terre-Neuve), ou en béton précontraint (semi-submersible destinée au champ de Troll Olje au large de la Norvège). Les technologies de préfabrication en cale sèche de grandes structures pouvant flotter, remorquées puis échouées à leur emplacement définitif, ont été transposées pour la construction de l'extension du Port de la Condamine à Monaco.

En France métropolitaine ou dans les DOM-TOM, j'ai eu l'opportunité de travailler avec EDF sur des projets atypiques comme la station de transfert d'énergie par pompage de Montézic construite à la fin des années 70 sur la Truyère, des études sur le développement de l'énergie marémotrice

le long des côtes de la Manche et le projet dénommé SEPMEI (Stockage d'Énergie par Pompage en Mer permettant le développement des Énergies Renouvelables Intermittentes) qui a été proposé dans le cadre de l'AMI Stockage d'avril 2011 de l'ADEME. Il consistait à réaliser en Guadeloupe, sur le site de Petit Canal, une station de transfert d'énergie par pompage (STEP) innovante, alimentée en eau de mer.

#### Quand et comment Ingerop est-elle née ?

C'est effectivement à l'époque des plateformes offshore et de Petit Saut, en 1992, qu'Ingerop est née du regroupement d'Inter G et de Seee, deux sociétés d'ingénierie technique aux parcours originaux et complémentaires :

- Inter G, créée en 1945, - spécialisée dans le domaine des centrales thermoélectriques, hôtels, hôpitaux et, à partir des années 80, également du tramway - puis, reprise par le groupe GTM en 1984 pour développer son activité clé en main ;
- Seee, fondée en 1962 par GTM pour être son département d'études techniques en ouvrages d'art et structures complexes et qui, au fil des ans, s'est développée dans les domaines de la maîtrise d'œuvre de grandes infrastructures linéaires, des réseaux de transports urbains, du bâtiment et de l'installation industrielle.

Fin 2000, alors que son actionnaire GTM est absorbé par Vinci, les cadres dirigeants d'Ingerop prennent l'initiative du rachat de leur société au travers d'un LMBO, avec l'appui, à hauteur de 25% des parts de la société, du fonds d'investissement de la banque Crédit Lyonnais.

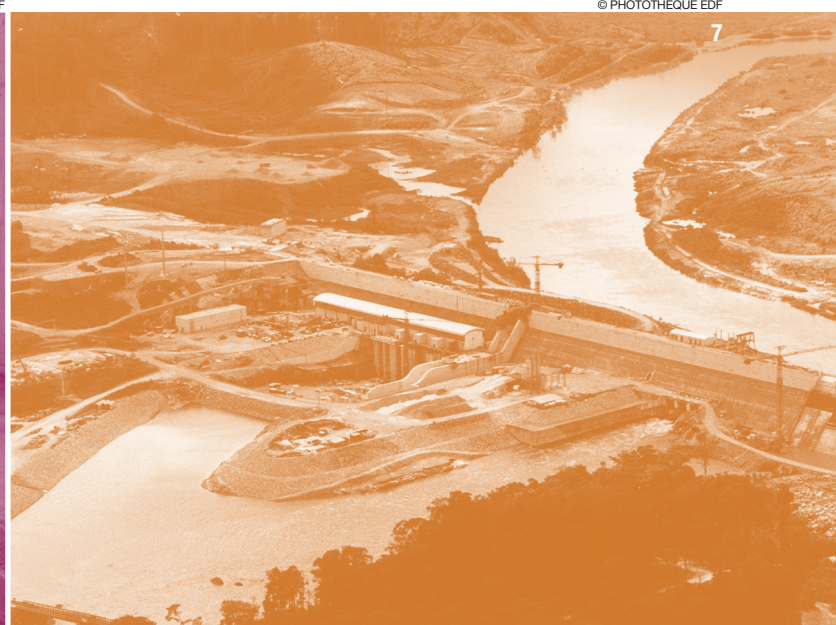
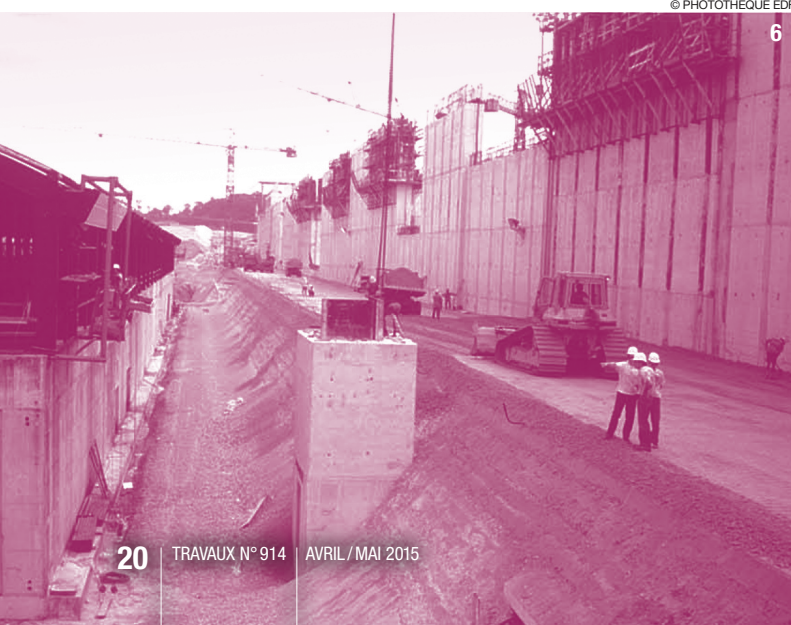
**6- Barrage de Petit Saut (Guyane) - mise en œuvre du BCR entre le voile d'étanchéité amont et la centrale.**

**7- Barrage de Petit Saut (Guyane) - vue générale du chantier.**

**8- Projet Euroroute - vue en plan synthétique.**

**9- Projet Euroroute - vue d'artiste d'un des ponts à haubans.**

**10- A86 - Duplex en construction.**



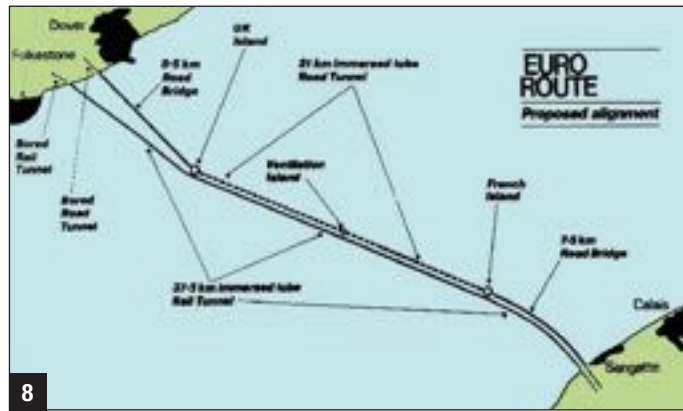
Ingerop rassemble alors 1 100 collaborateurs. Cinq ans plus tard, fin 2005, un LMBO secondaire est organisé et souscrit par de nombreux ingénieurs seniors qui reprennent les parts de la société appartenant à la banque.

En septembre 2012, à l'issue d'un troisième LMBO qui a vu l'actionnariat du groupe s'élargir à près de 290 cadres confirmés, la gouvernance du groupe a évolué avec la mise en place d'un conseil d'administration et d'un comité exécutif : depuis cette date, Yves Metz assure la présidence du conseil ainsi que la présidence opérationnelle du groupe.

**L'assistance à la maîtrise d'ouvrage ainsi que la maîtrise d'œuvre font traditionnellement partie de la palette des services offerts par les sociétés d'ingénierie. Quel est votre point de vue sur cette activité ?**

Le financement des grands chantiers a conduit à un développement de plus en plus important des opérations en concession ou en partenariat public - privé. Un marché de conception - réalisation se justifiant alors, lorsque le Maître d'Ouvrage peut tirer avantage des moyens et de la technique des entreprises groupées ainsi que de leur intervention dès le début des études, ce qui permet la mise en place d'un processus itératif entre les études de conception et les contraintes de réalisation.

Dans ce type de marché, le maître d'ouvrage ne dispose pas d'un maître d'œuvre indépendant. Cependant, il lui faut mettre en place, en accord avec les clauses contractuelles du marché de conception - construction, les moyens lui permettant de suivre la bonne réalisation de l'opération.



L'AMO technique n'est pas une « super » MOE, un contrôle extérieur supplémentaire de la MOE.

C'est une mission complémentaire dont l'approche est différente.

→ La MOE a une approche « verticale », affinant la conception avec le temps, ayant pour objectifs le respect du corpus réglementaire et l'optimisation du coût d'investissement, cloisonnant au stade exécution les sujets par lots, ce qui implique une fragilité au niveau des interfaces.

→ L'AMO a une approche « horizontale », intégrant la phase exploitation (durabilité, maintenance et coûts d'exploitation), l'analyse des risques principaux avec devoir d'alerte du Maître d'Ouvrage et participation au suivi des risques identifiés, l'analyse fonctionnelle globale « système » en termes de process industriel et une approche performancielle.

**Vous êtes responsable de l'innovation chez Ingerop, c'est une mission de confiance. Le « jus de cerveau » est-il brevetable ?**

À part dans le cas des hausses fusibles Hydroplus, les développements que nous avons pu réaliser - c'est toujours un travail d'équipe - dans le cadre de concours ou d'appels d'offres n'ont pas pu être brevetés, les idées pouvant même être reprises et développées par d'autres.

**Le pillage intellectuel est un risque du métier. Mais les bonnes idées peuvent aussi être reprises par soi-même. Un projet innovant non réalisé sur le moment peut en inspirer d'autres qui voient le jour plus tard.**

Dans le cadre du concours binational franco-anglais pour la réalisation du lien fixe transmanche, j'ai fait partie de l'équipe qui a proposé en novembre 1985 le projet Euroroute (voir Travaux février 1987), qui comportait une autoroute à péage (figure 8) avec un tunnel immergé de 21 km de longueur et deux ponts à haubans multi-travées de part et d'autre (figure 9).

Les caissons du tunnel routier immergé comportaient deux chaussées superposées, avec des gaines de ventilation latérales.

Les deux gouvernements ont préféré le projet EuroTunnel, mais les études et essais qui avaient été réalisés ont donné par la suite naissance au pont à haubans construit sur l'estuaire de la Severn (voir Travaux n° 697 - avril 1994 et n°758 - novembre 1999), préfigurant celui réalisé ensuite entre Rion et Antirion en Grèce.

Les études ayant mis en évidence la complexité de gestion du trafic poids lourds en tunnel, le concept de tunnel à chaussées superposées a quant à lui été développé dans le cadre des réflexions sur le réseau de voiries souterraines réservées aux véhicules légers sous Paris (L.A.S.E.R), puis construit par Cofiroute pour le bouclage à l'ouest de l'autoroute A86 (figure 10). Le Duplex A86 a reçu, entre autres distinctions, le prix « construction et aménagement 2011 » dans le cadre du Grand Prix de l'Ingénierie.

**Sa carrière exaltante conduit-elle « la numéro 7 » à confirmer que les femmes ont bien leur place dans les Travaux Publics ?**

Sautant sans interruption d'un projet à un autre, obligée à chaque fois de sortir de mes « zones de confort » pour rechercher les solutions les plus efficaces et les plus adaptées, mais dans le cadre d'équipes soudées et solidaires, je n'ai pas vu le temps passer et je ne puis que souhaiter aux jeunes diplômés de vivre une aventure aussi enrichissante.

Même s'il n'est pas toujours simple de concilier vie personnelle et vie professionnelle, je pense que les femmes ont leur place dans les travaux publics. En revanche, peut-être plus que leurs collègues masculins, elles doivent faire leurs preuves avant d'être totalement acceptées et reconnues. □

© CLAUDE BESSIÈRE



© PHOTO THÉQUE COFIROUTE







**TOURNAUD**

1

© TOURNAUD

# LA VOIE FLUVIALE POUR VOIE ROYALE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LORSQUE LES LYONNAIS SE PROMÈNENT SUR LES « DÉFILÉS DE SAÔNE », LORSQU'ILS CHEMINENT LE LONG DES PERRÉS DE PIERRE DU NOUVEAU PONT ROBERT SCHUMAN SUR LA SAÔNE, LORSQU'ILS SE DÉTENDENT DANS LE PARC URBAIN DE LA FEYSSINE, LORSQU'ILS CONTEMPLER LA BEAUTÉ DE LA PILE EN RIVIÈRE DU PONT RAYMOND BARRE SUR LE RHÔNE, FACE AU MUSÉE DES CONFLUENCES, LORSQUE LES TOURISTES ADMIRENT LA CHUTE D'EAU PERMANENTE DU BARRAGE DE MEMBRUN, DANS LE PUY DE DÔME, OU LA BELLE RESTAURATION DU BARRAGE DES LORRAINS À APREMONT-SUR-ALLIER, DANS LE CHER, ILS SONT LOIN DE SOUPÇONNER L'IMPORTANCE DES TRAVAUX EFFECTUÉS POUR PARVENIR À UN TEL RÉSULTAT. TRAVAUX QUI SONT L'ŒUVRE DE L'ENTREPRISE TOURNAUD, UNE PME DE TRAVAUX FLUVIAUX BASÉE SUR LE PORT ÉDOUARD HERRIOT À LYON. CE QUE MET NOTAMMENT POUR NOUS EN ÉVIDENCE SOPHIE BOUSSEN, DIRECTRICE DE L'ENTREPRISE, PARMIS LES NOMBREUSES RÉALISATIONS DONT TOURNAUD PEUT FAIRE ÉTAT.

## DU BÂTIMENT AUX TRAVAUX FLUVIAUX

Tournaud est implantée de longue date dans la région lyonnaise puisque'elle a été créée en 1937 par Jean Tournaud avec pour principale activité le bâtiment. À la suite de la seconde guerre mondiale, son fils Henri Tournaud l'orienta vers les Travaux Publics pour faire face aux nombreux travaux de reconstruction des ponts et ouvrages détruits. Leurs petits-fils et fils Jean-Claude, puis Pierre, puis Michel intègrent à leur tour

la société et développent grandement ses activités dans le domaine fluvial. Par la suite, Tournaud entrera dans le giron de Gtm Btp puis de Sogea et, enfin de Vinci, dont elle est l'une des entreprises du pôle « environnement et travaux de spécialités », intervenant en toute autonomie dans son secteur très particulier. Dirigée depuis janvier 2014 par Sophie Boussem, Tournaud emploie près d'une centaine de personnes et réalise un chiffre d'affaires de l'ordre de 18 millions d'euros.

## 1- La voie fluviale constitue un axe privilégié pour l'entreprise Tournaud.

Son activité se répartit en trois secteurs : dragage et bathymétrie, battage et travaux spéciaux, génie civil.  
« Le secteur dragage et bathymétrie, précise Sophie Boussem, a pour clients

pratiquement exclusifs la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Voies Navigables de France (VNF) et EDF. L'entreprise est spécialisée dans les travaux de dragage hydraulique par dragues aspiratrices de toutes catégories - de 100 ch à 1 600 ch - pouvant intervenir aussi bien sur des petits cours d'eau à tirants d'eau et tirants d'air très faibles, voire des tunnels, que sur des chantiers plus importants tels que des garages amont d'écluse et des barrages ». Cette activité s'exerce à 95%, comme

**2- Sophie Bous-  
sen, directrice  
de l'entreprise  
Tournaud.**

**3- Transport  
par voie fluviale  
depuis La Cou-  
courde du dalot  
de surverse pour  
le chantier de  
la Feysine.**

**4- Chargement  
des tuyaux de  
2 m de dia-  
mètre à l'usine  
Bonna Sabla de  
Conflans-Sainte-  
Honorine pour  
l'acheminement  
jusqu'à Lyon.**



© MARC MONTIGNON

2

## SOPHIE BOUSSEN

**Sophie Bousen est directrice de l'entreprise Tournaud depuis janvier 2014. Ingénieur de l'École Centrale de Lyon en spécialisation génie civil, elle a commencé sa carrière en travaillant dans la coopération française au Mali où elle a réalisé pendant deux ans des projets de développement local - puits, jardins maraîchers, écoles - avant de revenir en France pour intégrer le secteur « bâtiment » de l'entreprise Gfc Construction, dans laquelle elle restera quatre ans.**

**Elle entre ensuite dans l'entreprise Tournaud en 2006 pour succéder à Claude Taillade, responsable du bureau d'études de prix, lors de son départ à la retraite.**

**Trois ans plus tard, en 2009, elle devient responsable d'exploitation et responsable du bureau d'études puis directrice adjointe en 2012 avant d'être nommée directrice en janvier 2014.**

celle des autres secteurs de l'entreprise, dans toute la France, à l'est d'une ligne Lille-Montélimar, ainsi qu'en Suisse.

La seconde technique de dragage dite mécanique, appelée « dipper », consiste à terrasser les fonds à l'aide de quatre pelles hydrauliques de 45 t à 60 t embarquées sur pontons et qui chargent des « clapets fendables » ou des barges à partir desquels les matériaux sont, soit restitués dans des fosses naturelles lorsqu'ils ne sont pas pollués, soit évacués et traités dans des centres spécialisés.

« Le secteur bathymétrie, qui emploie trois personnes, poursuit Sophie Bousen, a pour mission principale l'équipement des pelles et des dragues en GPS de positionnement X, Y, Z, notamment en profondeur, avec le système Prolec installé sur les balanciers des pelles hydrauliques. Il intervient également pour répondre aux demandes de clients qui ont à résoudre des problèmes particuliers ».

Pour effectuer ces travaux, Tournaud dispose de trois parcs matériels : sur le port Édouard Herriot, à Lyon, à La Coucourde, près de Montélimar, avec une cale sèche pour effectuer les réparations, et à Saumaty, près de Marseille.

Le secteur battage et travaux spéciaux réalise l'ensemble des opérations de mise en œuvre de rideaux de palplanches pour la création de batardeaux

de piles de ponts, de pieux battus de fondation de piles, de ducs d'Albe d'acostage, de création de quais.

Il effectue également des chantiers de battage « terrestres », par exemple pour la création de parois berlinoises pour GRT Gaz et la SNCF.

L'entreprise dispose à cet effet de vibrofonçeurs PTC et ICE-IHC d'une force centrifuge jusqu'à 1 500 kN et de marteaux de battage Diesel Delmag D22

et D35 et hydrauliques ICE-IHC S70 et S90. Les domaines dans lesquels interviennent les « travaux spéciaux » de Tournaud sont plus diversifiés et concernent aussi bien la création d'exutoires que la pose d'enrochements ou et la réalisation d'estacades.

À côté de ces trois secteurs, le service matériel constitue une entité à part. C'est lui qui est chargé de la maintenance, de l'entretien et de la réparation de l'ensemble du parc : barges et pontons, pelles hydrauliques, dragues, vibrofonçeurs, moutons de battage. Ses « clients » sont essentiellement les secteurs « dragages et bathymétrie » et « battage et travaux spéciaux » de l'entreprise elle-même.

## ÉMISSAIRE DE LA FEYSINE : LA VOIE FLUVIALE POUR PRÉFÉRENCE

Quelques chantiers récents permettent d'appréhender la diversité du secteur travaux spéciaux.

Pour la Communauté Urbaine du Grand Lyon, Tournaud a réalisé le rejet au Rhône de l'Émissaire de la Plaine de l'Est. Situé au large du parc urbain de la Feysine, il constitue le maillon final de l'émissaire d'eaux pluviales drainant la Plaine de l'Est (EPE) de l'agglomération lyonnaise et récoltant au passage la sortie de la STEP.

Outre une chambre de répartition construite dans une phase précédente, il comporte deux ouvrages :

→ Une canalisation sous-fluviale en tuyaux à âme tôle Bonna Sabla de 2 m de diamètre intérieur, d'une longueur de 600 m et posée à 10 m de profondeur, se terminant par un diffuseur composé de 5 cheminées verticales assurant la diffusion des effluents au point du Rhône le plus rapide. ▷



© TOURNAUD

3



4





5



6



7



8

→ Un dalot de surverse constitué d'un cadre en béton armé de 38 m de long, d'une section de 4,56 m x 2,60 m de haut, servant de rejet lors des régimes orageux par un déversement immédiat en berge.

« Nous avons présenté pour ce projet, précise Sophie Boussen, une variante intéressante d'un point de vue technique offrant en plus la possibilité d'inclure des prestations environnementales permettant de limiter l'impact des camions et des semi-remorques : le dalot a été construit en cale sèche à la Coucourde puis mis en œuvre par flottaison sur un trajet de 150 km et nous avons acheminé par voie fluviale les canalisations à âme tôle Bonna Sabla depuis le port de Conflans-Sainte-Honorine ainsi que les 40 000 t d'enrochements constituant la carapace de la conduite depuis le port de Lyon. À noter que les élus ont été très sensibles à cette démarche environnementale et ont validé les propositions faites par l'entreprise permettant ainsi la limitation de l'impact des travaux sur le parc de la Feyssine et la circulation de plus de 1 000 camions dans l'agglomération lyonnaise ».

### DÉFILÉS DE SAÔNE : UN CHEMINEMENT PIÉTONS LE LONG DE LA RIVIÈRE

Pour le chantier des « Défilés de Saône », Tournaud (mandataire) a réalisé avec Maia Fondations 2 200 m d'estacades en béton armé formant un cheminement piétons en rive gauche de la Saône, dans le centre de Lyon, en mettant en œuvre deux systèmes constructifs :

→ D'une part, des poutres consoles en béton armé ancrées par des tirants verticaux et obliques dans les murs de quai existants, tous les 4 à 6 m, représentant un linéaire total de tirants de 15 km,

→ D'autre part, des pieux de 609 mm de diamètre à l'écartement de 5 à 6 m,

sur lesquels s'appuie la dalle de circulation du cheminement.

Le chantier s'est déroulé pendant 20 mois de juin 2012 à mars 2014. Il comportait également les travaux de réparation et de restauration des maçonneries, le remplacement de pierres de taille ainsi que la mise en œuvre d'enrochements sous fluviaux et de béton immergé pour la reprise d'affouillements en quais bas.

**5- Mise en place de la canalisation sous-fluviale pour l'émissaire de la Feyssine.**

**6- Les « Défilés de Saône », une nouvelle promenade au bord de la rivière dans le centre de Lyon.**

**7 & 8- Barrage de Génissiat : un chantier de dragage de 12 000 m<sup>3</sup> à 40 m de profondeur.**

### GÉNIE CIVIL : L'HISTOIRE SE POURSUIT

Le secteur génie civil est hérité des origines de l'entreprise qui exerçait à ses débuts son activité exclusivement dans le bâtiment, notamment avec un important marché d'entretien des Hospices civils de Lyon et la construction de maisons individuelles.

« Si le marché d'entretien des Hospices s'est poursuivi dans le temps, et ceci depuis près de 80 ans, précise Sophie Boussen, le secteur génie civil de l'en-

treprise a connu depuis 15 ans un développement important grâce à une véritable diversification : il est passé de 300 000 euros de chiffre d'affaires (de l'ordre de 1 million de francs) à près de 4 millions d'euros en 2014.

Aujourd'hui, ce secteur exerce 90 % de son activité dans des chantiers de rénovation de barrages, d'écluses, de perrés maçonnés tout en intervenant sur des chantiers " terrestres " tels que l'extension, l'entretien et la rénovation de stations de compression de gaz dont Tournaud assure la construction de fosses, de massifs en béton, de parois berlinoises, de rideaux de palplanches, etc. L'activité bâtiment est devenue marginale ».

### DRAGAGES DE MASSE : GÉNISSIAT ET MEMBRUN

Parmi les chantiers récents et significatifs relevant des compétences du secteur « dragage », il faut citer les barrages de Génissiat et de Membrun. Premier barrage de la première centrale hydroélectrique française construite sur le Rhône entre Lyon et Genève, dans le département de l'Ain, inauguré en 1948, Génissiat est un ouvrage de





9

© TOURNAUD

104 m de hauteur qui fait l'objet d'un entretien constant.

Parmi les travaux réalisés sur l'ouvrage, Tournaud a été chargée d'assurer le dragage de 12 000 m<sup>3</sup> de matériaux devant les grilles amont du barrage à une profondeur de 40 m. L'ensemble du volume a été restitué au Rhône environ à un kilomètre à l'amont.

Une autre intervention importante a concerné le curage de la retenue du barrage de Membrun, à Thiers, dans le Puy de Dôme, en groupement avec Extract Ecoterres.

Il s'agissait de draguer, traiter et évacuer 50 000 m<sup>3</sup> de sédiments dans la retenue ainsi que de rehausser les crépines de débit réservé et d'extraire

**9- Les installations de traitement des 50 000 m<sup>3</sup> de sédiments extraits de la retenue du barrage de Membrun.**

**10- Vue d'ensemble du barrage de Membrun, dans le Puy de Dôme.**

**11- Chantier de dragage dans la Saône avec une pelle hydraulique Komatsu PC 600 LC de 60 t sur ponton.**

des matériaux devant la vanne de fond. « Plusieurs contraintes étaient liées à la réussite du chantier, précise Sophie Bousset. Il nécessitait un suivi environnemental de la qualité de l'eau en continu, notamment du paramètre ammonium. Le barrage étant en déversement permanent, il comportait un risque de chute important auxquels s'ajoutait celui lié à la présence de lignes haute tension EDF de 20 KVA au dessus du chantier. De plus, les filières d'évacuation étaient variables au fil de l'extraction, selon la nature et le degré de pollution des matériaux. L'entrée étroite de l'ouvrage ne pouvait accueillir que 10 semi-remorques par jour. Enfin, les travaux nécessitaient l'intervention d'une

équipe de scaphandriers pour rétablir les organes de vidange du barrage ». Pour mener à bien ce chantier, Tournaud a mis en œuvre du matériel lourd : une drague aspiratrice IHC 425 reconconditionnée avec une rallonge d'élinde de 15 m, 300 m de conduite dont 100 m flottants et 200 m terrestres, une grue mobile de 120 t équipée d'un grappin et d'une benne preneuse, une pelle amphibie « big float » et une pelle hydraulique à bras long, une pelle de terrassement de 25 t ainsi que des pompes immergées et les installations de traitement des sables, des boues et des refus d'Extract Ecoterres (groupes de prétraitement, décanteurs lamellaires, presses hydrauliques).



© TOURNAUD

10

11





12



13



14

© TOURNAUD

Plus récemment, l'entreprise a également assuré, dans le cadre du dragage d'entretien de la Saône, l'extraction et l'évacuation à une dizaine de kilomètres de la zone de dragage de 65 000 m<sup>3</sup> de matériaux à l'aide d'un dipper et de clapets de 350 m<sup>3</sup> de capacité unitaire.

#### **RAYMOND BARRE ET SCHUMAN : DES TRAVAUX QUASIMENT « MARITIMES »**

Les deux chantiers les plus récents et les plus importants du secteur battage sont ceux des ponts Raymond Barre sur le Rhône en sous-traitance avec Bouygues et Schuman sur la Saône en groupement avec Gtm TP Lyon.

Remarquable ouvrage en arc, le pont Raymond Barre, destiné aux modes de transport doux (tramway, cycles, piétons) relie deux quartiers dynamiques de Lyon : le quartier de la Confluence (Lyon 2<sup>e</sup>), entre Rhône et Saône, et celui de Gerland (Lyon 7<sup>e</sup>). Il s'agit du 25<sup>e</sup> pont à Lyon et du 16<sup>e</sup> franchissement du Rhône, mais surtout du premier ouvrage d'art construit depuis 30 ans dans la troisième ville de France. Il est situé quasiment en face du nouveau musée des Confluences. En dégagant une portée principale de

150 m, le pont Raymond Barre franchit le fleuve avec un seul appui en rivière dont la réalisation des batardeaux et des fondations profondes a été confiée à l'entreprise Tournaud.

« L'une des particularités du chantier, indique Sophie Boussen, est que l'ouvrage est situé dans une zone où le Rhône a une profondeur de 15 m ce qui a conduit à la réalisation d'un batardeau constitué de palplanches battues à 26 m de profondeur, à partir d'un

**12 & 13-  
Le batardeau en rivière pour le pont Raymond Barre : les palplanches ont été battues à 26 m de profondeur.**

**14- Le batardeau en palplanches pour l'appui en rivière du pont Schuman à Lyon.**

ponton et d'une grue de 130 t, avec un terrassement à -18 m nécessitant la réalisation de cadres de bétonnage d'un poids unitaire de l'ordre de 50 t. À une telle profondeur, les contraintes d'un chantier de ce type s'apparentent à celle d'un ouvrage en site maritime ».

Les dimensions des outils utilisés confirment cette constatation : palplanches Z de 500 t, liernes de type PRS de 100 t, mise en fiche et battage de ducs d'Albe de diamètres 900 à 1 800 mm et de 28 m de hauteur.

L'unique pile en rivière est fondée sur 16 pieux de 1 600 mm de diamètre, trépanés, ferrillés et bétonnés à une profondeur de 31 m.

De son côté, le pont Schuman relie le quai Gillet, dans le 4<sup>e</sup> arrondissement, au quai du Commerce, dans le 9<sup>e</sup>.

En 2014, il est devenu le 14<sup>e</sup> pont sur la Saône et améliore la liaison entre les quartiers de la Croix-Rousse et de Vaise tout en marquant de façon monumentale l'entrée en ville et dans l'agglomération.

La pile centrale de l'ouvrage a été construite à l'abri d'un batardeau réalisé avec des conditions géologiques et hydrauliques similaires à celles du pont Raymond Barre, notamment sous

## **TOURNAUD EN BREF**

**17 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2014. Trois secteurs d'activité :**

- **Dragage et bathymétrie (33 personnes, 7 à 8 M€ de CA), dirigé par Loïc Harauchamps,**
- **Battage et travaux spéciaux (18 personnes, 4 à 8 M€ de CA), dirigé par Olivier Minjard,**
- **Génie civil (16 personnes, 3,5 à 4 M€ de CA), dirigé par Denis Rouvière, auxquels s'ajoute le service matériel (12 personnes), dirigé par Éric Marti.**

**Trois ateliers matériel : Port Edouard Herriot (Lyon), La Coucourde (Montélimar), Saumaty (Marseille).**

**Le bureau d'étude (prix, technique et méthode) est mené par Virginie Douterlingne en structure, étude de prix et par Alexis Sautereau en méthode.**

**Zone d'influence : toute la France à l'est d'une ligne Lille/Montélimar, avec des incursions en Suisse.**



15

© TOURNAUD

une hauteur d'eau moyenne de 15 m : fourniture, mise en fiche et battage de palplanches AZ 17-700 de 31 m de hauteur, fourniture et pose de liernes HEB de 90 t, terrassement à -18 m de profondeur, mise en fiche de ducs d'Albe et de pieux de diamètres 900 à 1600 mm de 32 m de hauteur.

La différence principale tient au fait que le batardeau n'est pas fondé sur pieux mais directement sur le substratum. En complément des travaux fluviaux, Tournaud s'est vu également confier l'habillage en pierre des culées et des murs du nouveau pont : 807 m<sup>2</sup> de pierre de parement, 107 m de pierre de couronnement, 80 m<sup>2</sup> d'emmarcements, 375 m<sup>2</sup> de mise en peinture anti-graffiti.

#### GÉNIE CIVIL : BARRAGE DES LORRAINS

Dans le domaine du génie civil, Tournaud réalise actuellement la restauration du barrage des Lorrains, à Apremont-sur-Allier, dans le Cher. Le chantier se déroule en deux saisons hydrau-

**15- Dragage dans la Durance avec un atelier lourd constitué, notamment, d'une pelle hydraulique Komatsu PC 600 LC de 60 t.**

**16- Chantier de battage du batardeau en palplanches de 31 m de hauteur pour le pont Schuman.**

**17- Chantier de la microcentrale, de la conduite et de la passe à poissons de Strasbourg.**

liques, de juin 2014 à novembre 2016. Pendant la première saison, l'entreprise a réalisé un batardeau en terre et palplanches afin de former une enceinte étanche ainsi que la démolition

du barrage existant, composé de 31 hausses Aubert et d'une passerelle métallique de 40 t. Elle a ensuite créé un barrage à deux clapets hydrauliques de 16,50 m de longueur chacun, composés d'un radier en béton armé d'une épaisseur de 83 cm, lié à un gros béton de lestage d'une épaisseur de 1,50 m, d'une pile centrale et de deux bajoyers en béton armé d'une hauteur de 5,50 m.

Pendant la deuxième saison qui va démarrer en mai 2015, elle assure la démolition et la reconstruction du seuil béton avec la constitution d'une bêche amont en palplanches L603 de 7 m. Parallèlement, elle remplace les vannes d'alimentation de l'écluse ronde attenante et de ses 12 vannes.

#### ENVIRONNEMENT : PASSE À POISSONS ET MICROCENTRALE À STRASBOURG

Parmi les chantiers en cours, il faut enfin citer en conclusion celui d'une passe à poissons, d'une microcentrale et d'une conduite forcée à Strasbourg

sur lesquels l'entreprise intervient en tant que sous-traitant du groupement Urban-Gtm/Vct pour réaliser les travaux de soutènement à l'aide de rideaux de palplanches définitifs et provisoires : rideaux butonnés définitifs de la passe à poisson aval, batardeau provisoire de la microcentrale de 30 m x 17 m avec deux niveaux de butonnage, dont un sous la nappe, rideaux provisoires butonnés pour la pose de la conduite forcée.

À ceci s'ajoutent la mise en œuvre des profilés de sous-pression définitifs dans la microcentrale et dans les galeries aval ainsi que celle de connecteurs pour la liaison des palplanches avec le béton immergé.

L'intervention comporte également la construction d'un batardeau-caisson fixé par scaphandrier sur les bajoyers existants pour la réalisation des ouvrages d'entrée et le rideau d'étanchéité de la digue. Soit 1600 t de palplanches, 150 t de butons, 180 pieux de sous-pression et deux batardeaux-caissons préfabriqués de 10 t. □



16



17





1

© SAIPEM

# LITCHENDJILI, PREMIER PROJET GAZIER OFFSHORE DU CONGO

AUTEUR : MICHEL YON, CHEF DE PROJET CONGO, SAIPEM SA

POINTE NOIRE EST UNE VILLE PÉTROLIÈRE EN PLEINE EXPANSION. SON DÉVELOPPEMENT SAIN ET HARMONIEUX PASSE PAR LA RÉOLUTION DE SA PÉNURIE RÉCURRENTÉ EN ÉLECTRICITÉ. C'EST L'OBJET DU PROJET LITCHENDJILI : UNE PLATEFORME PRODUIRA PRINCIPALEMENT DU GAZ À SEULEMENT 15 KM DES CÔTES ET 37 M DE PROFONDEUR. IL SERA ACHÉMINÉ PAR UN PIPELINE ET UNE JETÉE D'ATERRAGE JUSQU'À UNE USINE À GAZ QUI LE TRAITERA POUR ENSUITE LE TRANSFORMER EN ÉLECTRICITÉ À LA CENTRALE ELECTRIQUE DU CONGO. PLUSIEURS ENTITÉS DU GROUPE SAIPEM PARTICIPENT À CE PROJET DE DÉVELOPPEMENT, CRUCIAL POUR LA RÉGION.

## LE PROJET

Le gisement Litchendjili a été découvert par Eni Congo dans des fonds marins peu profonds. Le développement du champ gazier offshore est donc réalisé avec des méthodes « shallow waters » traditionnelles et économiques : une plateforme constituée d'un jacket de 41 m de hauteur et 789 t, et d'un deck de 2 750 t. Avec un simple traitement de fluidification, le produit triphasique -gaz, condensat, huile - sera acheminé

par un pipeline sous-marin ou *sealine* de 305 mm de diamètre, doublé d'une autre ligne dite *piggy back* de 50 mm de diamètre acheminant vers la plateforme l'inhibiteur hydrique permettant la fluidification du produit. Une jetée permettant l'atterrage de la ligne est construite sur la côte à proximité de la Centrale Electrique du Congo (CEC), située à 20 km au sud de Pointe Noire. Une Joint Venture constituée de Saipem SA (France) et de sa filiale Boscongo

**1- Vue générale du projet Litchendjili onshore avec la jetée et l'usine à gaz en construction.**

**1- General onshore view of the Litchendjili project with the jetty and gas plant under construction.**

(Congo) est titulaire du contrat EPCI de la quasi-totalité de ce qui vient d'être décrit. Mais le groupe Saipem est impliqué dans d'autres lots du projet : l'usine de traitement du gaz et des condensats à terre est construite par Saipem (Italie) (figure 1) et les puits seront forés par la Business Unit Drilling de Saipem.

## LA FABRICATION DU JACKET

Afin de garantir la verticalité du jacket, un système innovant a été développé

en ingénierie. En effet le fond marin présentant des différences d'homogénéité, faire reposer le jacket sur le fond de la mer présentait un risque important d'instabilité lors de la réalisation des pieux, avec pour conséquence un problème de verticalité. La solution choisie par le Maître d'Ouvrage a été de faire reposer le jacket sur 4 pieux temporaires préalablement installés au fond de la mer. Un système d'accostage du jacket (figure 2) lors de l'installation permet de venir positionner en toute sécurité l'ouvrage. Les relevés des pieux temporaires après leur mise en place, ainsi que de la structure du jacket, permettent d'ajuster très précisément le système afin d'obtenir une verticalité presque parfaite. Ensuite, des vérins agrippent les pieux pour maintenir le jacket en position jusqu'à la fin de la réalisation des pieux de fondation définitifs.

Afin que ce projet favorise l'emploi au Congo, la fabrication sur place, à Pointe Noire a été demandée par les autorités locales et le client Eni Congo. Le site de fabrication de Boscongo a fait l'objet d'un remaniement en profondeur

et d'investissements très lourds pour mener à bien en même temps plusieurs projets de ce type. Ces travaux de rénovation sont finis et Boscongo dispose maintenant d'un outil de fabrication sans équivalent au Congo :

- Un site de fabrication de 28 ha ;
- 2 lignes de soudure de 130 m ;
- 1 ligne de pliage de 80 mm de capacité ;

#### 2- Système d'accostage du jacket.

#### 3- Relevage d'un panneau du jacket.

#### 4- Chargement du jacket.

#### 2- Jacket landing system.

#### 3- Raising a jacket panel.

#### 4- Jacket loading.

→ Un atelier couvert de 9 000 m<sup>2</sup> équipé de 8 ponts de 10 à 25 t de capacité.

Le jacket de Litchendjili a été le premier à bénéficier de ces améliorations et sa fabrication qui s'est étendue au long de l'année 2014 a été marquée par les jalons suivants :

- Premier *roll-up* le 23 juillet 2014 (figure 3) : après avoir fait le maximum de fabrication avec les quatre jambes à plat, le premier panneau, composé de 2 jambes, est relevé par rotation de 90° sur une jambe avec l'aide de 3 grues et de 3 treuils ;
- Deuxième *roll-up* le 8 août 2014 : relevage du deuxième panneau ;
- *Up-ending* le 19 septembre 2014 (figure 4) : le jacket est relevé en position verticale avec l'aide d'une grue 400 t ;
- Chargement sur barge en position verticale le 8 décembre 2014 à l'aide de 4 multi-roues de 600 t (figure 5) ;
- Après arrimage sur la barge, le jacket a pris la mer le 13 décembre 2014.

#### L'INSTALLATION DE LA PLATEFORME

Peu après son départ de Boscongo, le jacket a été réceptionné par la Saipem 3000. Ce bateau est l'un des plus sophistiqués de la flotte de Saipem, il permet, grâce à sa grue d'une capacité de 2 200 t et à son système de positionnement dynamique de classe 3 (DP3), de faire des opérations de levage compliquées sans avoir à déployer un système d'ancres, ce qui permet de réduire fortement le temps de mobilisation. Le jacket a été installé sur ses pieux temporaires immédiatement après, le 14 décembre 2014. Afin d'éviter un long temps de stand-by météo selon les prévisions pour les jours suivants, l'installation a été réalisée de nuit en un temps record et, bien sûr, avec un niveau de sécurité maximal. Après l'activation des vérins d'agrippement qui maintiennent le jacket dans une verticalité quasi parfaite, l'exécution des pieux définitifs a débuté dans chaque jambe :

→ Pieux extérieurs de 1 295 mm de diamètre, battus, pour tenir le sol de couverture jusqu'à 18 m sous le niveau de la mer ;



2



3



4





5

© SAIPEM

→ Pieux intérieurs de 1 067 mm de diamètre, forés en circulation inverse jusqu'à 51 m sous le niveau de la mer. À la fin de la perforation, le pieu métallique muni de 3 lignes d'injection est installé et scellé au rocher par un coulis de ciment. Après soudure de pièces de transition sur chaque jambe du jacket pour reprendre les tolérances propres à l'exécution du jacket et de la plateforme

(figure 6), l'élément principal de celle-ci a été installé par la Saipem 3000 le 22 février 2015. D'un poids statique de 1 875 t, auquel il faut ajouter les surcharges dynamiques générées par les mouvements du bateau, cet élément a nécessité pour son levage près de 95% de la capacité du navire. Mais les conditions météorologiques favorables et le professionnalisme des équipes a permis d'exécuter cette opération

marquante du projet en toute sécurité (figure 7). Les derniers éléments annexes, tels que les modules de compresseurs, la plateforme pour hélicoptère, la grue, la torchère ont été installés à la suite. Dès la fin des opérations d'installation (*hook-up*), les équipes de Saipem Drilling viendront exécuter le forage des puits avec le Saipem TAD (contrat séparé).

### LA SEALINE

S'agissant d'un projet gazier, le transport du produit nécessite une fluidification préalable par un inhibiteur hydrique. Ce produit est envoyé depuis la terre par une ligne de 2 pouces, mélangé sur la plateforme au gaz pour permettre le transport par la ligne de 12 pouces jusqu'à terre. À proximité de la CEC, la centrale de traitement, en cours de construction par Saipem SpA,



6

© SAIPEM

5- Relevage du jacket.  
6- Navires "Saipem 3000" et "Armada Condor" pendant la préparation du jacket pour l'installation du deck.

5- Jacket raising.  
6- "Saipem 3000" and "Armada Condor" vessels during jacket preparation for installation of the deck.





7

© SAIPEM

permettra de séparer gaz, condensats et huile, de récupérer l'inhibiteur pour ensuite le renvoyer vers la plateforme. La particularité de cette *sealine* est donc d'être double : 305 et 50 mm l'un sur l'autre en *piggy back* (figure 8). Saipem a mobilisé une barge spécialisée pour cela : la Saipem 355.

Pour réaliser cette pose inhabituelle de double pipe, la barge a été modifiée de façon à pouvoir faire, en même temps, la découpe, l'assemblage, la soudure, les contrôles non destructifs et le revêtement de protection des deux lignes, l'une sur l'autre, avant de les assembler et de les laisser au fond de la mer. Pour le début de la ligne, côté jetée, la Saipem 355 ne pouvant pas s'approcher à moins de 800 m de la côte du fait de son tirant d'eau, les 600 premiers mètres de *sealine* soudés sur la barge ont été tirés depuis la côte (*shore pull*) par un winch linéaire (figure 9). Ces méthodes particulières développées par Saipem à Paris, se sont révélées très efficaces, car malgré la réalisation de 2 lignes en même temps, aucune baisse de rendement n'a été relevée.

Après la pose de la ligne principale, la pose des éléments de raccordement (*spools*) avec les *risers* installés sur les

parties verticales : jacket et jetée et permettant l'émergence de la ligne, a été réalisée avec des plongeurs. Ceux-ci sont basés sur l'Armada Condor, le bateau leur servant de base (figure 6).

**7- Navire "Saipem 3000" levant le deck pour son installation sur le jacket.**

**8- Ligne de gaz en cours d'installation à bord de la "Saipem 355".**

**9- "Saipem 355" au début de la phase d'installation (shore pull).**

**7- "Saipem 3000" vessel raising the deck for its installation on the jacket.**

**8- Gas line undergoing installation on board the "Saipem 355".**

**9- "Saipem 355" at the start of the installation phase (shore pull).**

## LA JETÉE

L'érosion constante de la côte ouest africaine et le *shore break* rendent nécessaire la construction d'une jetée afin de garantir l'atterrissage de la *sealine* pendant la durée de vie de l'ouvrage. Le département Travaux Maritimes de Saipem a été fortement impliqué dans la réalisation de cette jetée : l'ingénierie a été réalisée par le département et la construction, sous la responsabilité de Boscongo, a été exécutée avec des équipes de spécialistes des Travaux Maritimes.

À partir d'une culée réalisée avec des méthodes traditionnelles de palplanches, la jetée de 17 travées de 12 m, soit 204 m de longueur, a nécessité une méthode innovante, issue de la technique Saipem du Cantitravel (cf. *Travaux* n°895 Une Nouvelle Jetée Record en Colombie), mais adaptée à une jetée de petite taille. En effet, la houle est particulièrement importante sur les côtes congolaises avec des saisons où les fenêtres météo sont très réduites.

Afin de garantir les délais du projet, il était donc nécessaire de s'affranchir des aléas météo, mais l'outil idéal pour ce faire, le Cantitravel, nécessite un important investissement qui ne pour-

rait être rentable sur un nombre aussi réduit de travées.

La solution développée a permis, avec un investissement limité, de réaliser la construction de la jetée sans aucune interférence avec la mer, en s'affranchissant des aléas météo : deux plateformes, se positionnant sur la partie déjà construite de la jetée, permettent de faire progresser la grue de 180 t au rythme de l'avancement. Un guide de battage, accroché à chacune d'elles et soutenu temporairement par un pieu s'appuyant sur le fond de la mer, permet de réaliser en toute sécurité le positionnement, le battage, le forage, l'injection, et le recépage des deux pieux de 627 mm de diamètre (figure 10).

Après retrait du guide temporaire, l'installation de la structure métallique pré-assemblée se fait en une unique étape grâce à la grue : boulonnage à la travée précédente et peinture anticorrosion des boulons en même temps que l'installation des dalles de béton préfabriquées sur la structure, et la soudure du chevêtre sur les pieux récemment exécutés. Cette méthode de construction a permis de réaliser certaines travées en moins de 4 jours travaillés (figure 11).

## MISE EN PRODUCTION

### D'UN NOUVEAU CHAMP : NENÉ

Alors que les opérations ne faisaient que débuter, Eni a annoncé, le 26 janvier 2014, une importante découverte d'huile dans la même concession : Marine XII, ainsi que son engagement de mettre en production ce nouveau champ avant la fin 2014. Après l'acquisition et la modification d'une plateforme désaffectée du Golfe du Mexique, ▷



8

© SAIPEM



9





Eni Congo a signé avec la JV Saipem / Boscongo un avenant au contrat Litchendjili pour son transport et son installation.

Le planning du projet Litchendjili a été modifié - sans impact sur sa date de terminaison - pour permettre à la Saipem 355 d'installer :

- 25 km de *sealine* de 152 mm reliant la plateforme projetée à Zatchi, une plateforme existante opérée par Eni ;
- Un jacket de 230 t (figure 12) ;
- Une plateforme de 267 t.

En effet, la Saipem 355 est équipée d'une ligne de pose de pipeline mais également d'une grue de capacité

500 t ce qui lui permet d'avoir un panel d'activités variées et de répondre aux demandes de ses clients sans mobilisation de moyens supplémentaires.

Après les étapes de raccordement de la *sealine*, un *rig* de forage d'Eni est venu terminer la perforation des puits, la mise en production a été effective le 29 décembre 2014, 3 jours avant la fin du délai. Tenir cet objectif et réussir à mettre un champ en production 11 mois après la fin de l'exploration est un record pour la profession et pour Eni.

#### DÉVELOPPEMENT DURABLE

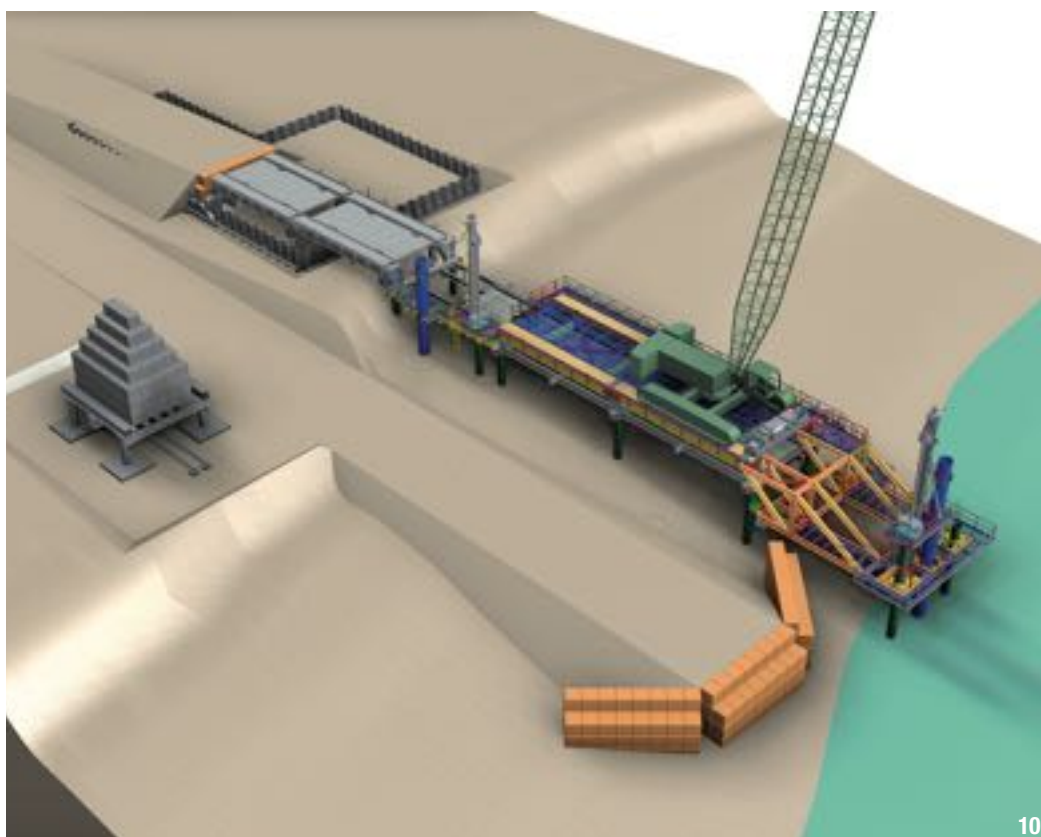
Conscients de leur responsabilité sociétale en tant qu'un des principaux

employeurs de la région de Pointe Noire, Saipem et Boscongo ont développé de nombreuses initiatives auprès de leurs employés ainsi que des communautés locales permettant, dans une démarche de développement durable, de participer à l'essor économique, à l'éducation, ou d'améliorer le bien-être des communes proches des lieux d'activité du projet notamment par :

- L'engagement constamment renouvelé de tous les niveaux de la hiérarchie du groupe Saipem vers le « zéro accident », souligné par le slogan « the safer, the better » a une fois de plus été démontré : alors que le projet touche à sa fin,

aucun incident enregistrable n'a été à déplorer (figure 13).

- La création d'emplois, la formation quotidienne par un encadrement expatrié et de qualité, le développement de compétences et leur transfert vers les populations locales visant à promouvoir la main d'œuvre locale afin qu'elle remplace le plus possible les expatriés.
- Un partenariat avec le lycée technique Thomas Sankara afin de développer les échanges avec l'entreprise, adapter la formation aux besoins afin d'améliorer l'employabilité des élèves. Neuf d'entre eux ont été sélectionnés pour un stage



10

**10- Méthode de réalisation de la jetée par plateformes mobiles.**

**11- Fin de la construction de la jetée travée n°17 avec plateforme de retournement.**

**12- "Saipem 355" procédant au battage des pieux du jacket de Nenè 1.**

**10- Jetty execution method with mobile platforms.**

**11- End of construction of jetty span 17 with turnaround platform.**

**12- "Saipem 355" performing pile driving for the jacket of Nenè 1.**



11



12



13

© SAIPEM

d'initiation sur le site de fabrication de Boscongo.

- Le respect des coutumes locales avec la réalisation d'une cérémonie rituelle de démarrage de projet, au cours de laquelle la bienveillance des ancêtres est invoquée (figure 14).
- La création d'un Cyber Café dans le quartier défavorisé de M'Paka en partenariat avec le centre Madre Morano. Par l'accès à l'internet de divertissement, ce centre attirera les jeunes du quartier et leur proposera, avec la participation de deux volontaires européennes, de l'aide pour leur recherche d'emploi et diverses

**13- Quart d'heure HSE en début de poste à la jetée.**

**14- Cérémonie rituelle de démarrage de projet.**

**13- HSE toolbox meeting at start of work shift on the jetty.**

**14- Ritual ceremony at start of project.**

formations à la citoyenneté et la protection de l'environnement. Ces formations sont amenées, à terme, à être dispensées dans d'autres quartiers de Pointe Noire.

- La réalisation de 2 forages d'eau potable sur la place du village et l'école de Côte Matève, à proximité de la CEC afin de faciliter l'accès à l'eau potable et d'en améliorer la qualité.
- La fourniture de tables et de bancs pour l'école communale de Côte Matève pour améliorer les conditions et le travail des écoliers qui jusque-là s'asseyaient souvent à même le sol.

## CONCLUSION

Pour le projet Litchendjili, Saipem a développé les multiples facettes de son savoir-faire reconnu, offshore, onshore et en travaux maritimes, depuis le forage dans le sous-sol marin jusqu'au traitement du gaz et des condensats, en passant par la fabrication et l'installation de la plateforme, de la sealine et de la jetée. Cela démontre sa capacité à mener à bien, la conception, l'approvisionnement, la construction et l'installation d'un projet clef-en-main complet dans le respect de la sécurité, des délais, des budgets et des communautés avoisinantes et à la satisfaction de son client Eni Congo. □



14

© SAIPEM

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**JACKET : 23 m x 23 m x 41 m (789 t)**

**PIEUX :**

- Externes : 70 m (364 t)
- Internes : 90 m (423 t)

**DECK : 2 750 t dont 1 875 t pour le colis le plus lourd**

**SEALINE : 37 km**

**JETÉE :**

- 17 travées de 12 m, soit 204 m au total, largeur 6,5 m dont 4,5 m pour les dalles de béton.
- 38 pieux de 609 mm (270 t)
- 275 t de superstructures

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Eni Congo**

**ENTREPRISES :**

- Offshore et travaux Maritimes : JV Saipem SA/Boscongo
- Fabrication et transport du deck : Navalmare SpA
- Onshore : Saipem Italie
- Forage : Saipem Drilling

## ABSTRACT

### LITCHENDJILI, THE FIRST OFFSHORE GAS PROJECT IN THE CONGO

MICHEL YON, SAIPEM SA

**Pointe Noire is a rapidly expanding oil town.** For its healthy, harmonious expansion, its problem of recurring electricity shortages must be solved. This is the purpose of the Litchendjili project: a platform to produce mainly gas only 15 km from the coast, at a depth of 37 metres. The gas will be transported by a pipeline and a landing jetty to a gas plant which will process it and then convert it into electricity at the Congo Electric Power Station. Several entities of the Saipem group are taking part in this crucial development project for the region. □

### LITCHENDJILI, PRIMER PROYECTO GASISTA OFFSHORE DEL CONGO

MICHEL YON, SAIPEM SA

**Pointe Noire es una ciudad petrolera en plena expansión.** Su desarrollo sano y armonioso pasa por resolver su escasez recurrente de electricidad. Éste es el objeto del proyecto Litchendjili: una plataforma que, principalmente, producirá gas a tan sólo 15 km de las costas y 37 m de profundidad. Se transportará por un oleoducto y un muelle hasta una central de gas que lo tratará antes de transformarlo en electricidad en la Central eléctrica del Congo. Varias entidades del grupo Saipem participan en este proyecto de desarrollo, crucial para la región. □

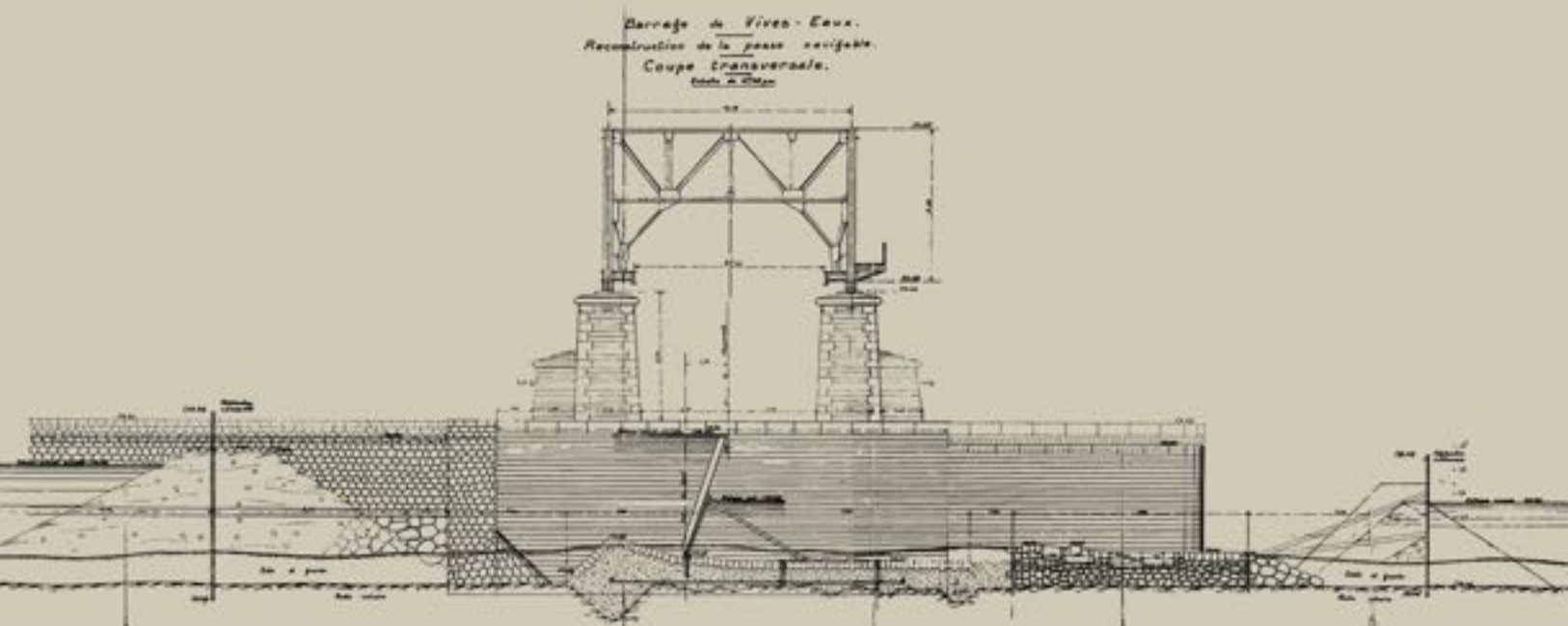


# RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VIVES-EAUX SUR LA SEINE

AUTEURS : FRANÇOIS ISCHIA, INGÉNIEUR STRUCTURE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - JULIEN BOZZOLO, RESPONSABLE DE PÔLE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - LAURENT DUBREUIL, DIRECTEUR DE PROJET, GTM TP IDF (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - VINCENT SIELI, INGÉNIEUR TRAVAUX, GTM TP IDF (VINCI CONSTRUCTION FRANCE)

LE CHANTIER DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VIVES-EAUX SUR LA SEINE SE SITUE EN SEINE-ET-MARNE ET, APRÈS QUATRE ANNÉES DE TRAVAUX, L'OUVRAGE SERA LIVRÉ AU COURANT DE L'ANNÉE 2017 : UN BARRAGE DE 90 M DE LARGE, UNE PASSE À POISSON DE 65 M DE LONG, UNE PASSERELLE D'ACCÈS, PERMETTANT AU PUBLIC DE TRAVERSER LA SEINE DEPUIS LA GARE RER DE VOSVES ET DES BÂTIMENTS ANNEXES PERMETTANT L'EXPLOITATION DU BARRAGE.

## BARRAGE EXISTANT



1  
© VNF

### CONTEXTE DU PROJET

Le barrage de Vives-Eaux se situe sur la Seine en amont de Paris et à l'aval de Melun entre les communes de Boissise-le-Roi et de Boissise-la-Bertrand en Seine et Marne (77).

Le barrage est actuellement équipé de hausses Aubert datant de 1928. L'état général de l'ouvrage et de ses équipements permettant la régulation du niveau d'eau ne répond plus aux exigences et standards de sécurité tant

pour l'exploitation que pour la maintenance. De plus, l'ouvrage présente des signes de vétusté au niveau de la structure et des organes de manœuvres, certaines hausses ne pouvant plus être manipulées (figure 2).

Fin 2013, Voies Navigables de France, exploitant de l'ouvrage et maître d'ouvrage de l'opération, confie la réalisation du nouveau barrage de Vives-Eaux et la destruction du barrage existant à un groupement constitué des entre-

1- Barrage existant.

1- Existing dam.

prises Emcc, Gtm TP IdF et Demathieu-et-Bard (pour la partie Génie Civil), Ducrocq (pour la vantellerie du barrage) et Roubay (pour la vantellerie de la passe à poissons).

### UN NOUVEL EMPLACEMENT, DE NOUVELLES FONCTIONS, DANS UN ENVIRONNEMENT CONTRAINT

Le nouveau barrage de Vives-Eaux est construit 70 m à l'amont du barrage actuel, sur les emprises VNF. Il est constitué de trois passes de 28,50 m de large équipées chacune d'un clapet qui aura pour but de réguler le niveau d'eau à l'amont et à l'aval de l'ouvrage afin de garantir la navigabilité de la Seine.



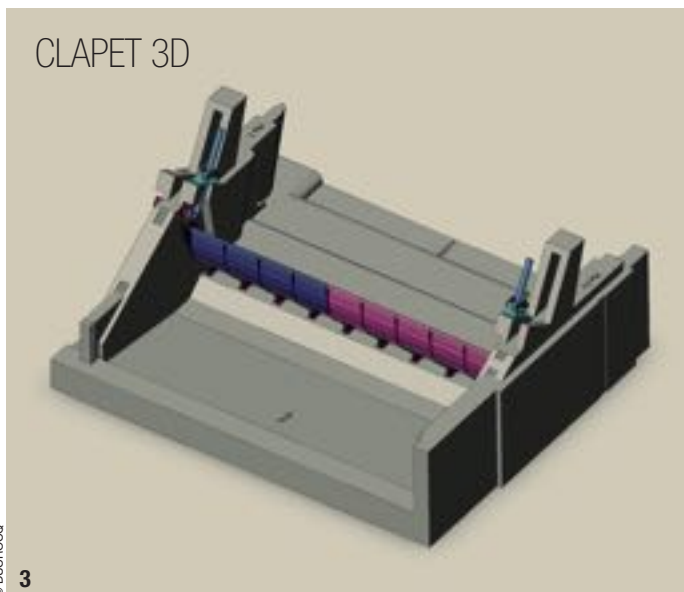
2  
© VNF

Ce barrage, à l'image de son cousin au Coudray, 14 km en aval, est entièrement automatisé pour répondre aux besoins des marinières dans ce secteur très fréquenté (13 500 bateaux chaque année, pour 4,5 millions de tonnes de marchandises) (figure 3). Il est complété par (figure 4) :

- Une passe à poissons de type « bassins à chambres successives » située sur la rive droite de la Seine qui offrira un accès facilitant le flux migratoire d'un large spectre d'espèces de poissons présentes dans le fleuve.
- Une passerelle publique créant la

- jonction entre Boissise-la-Bertrand et Boissise-Saint-Léger, elle desservira également chacune des piles et le local commande via des escaliers métalliques.
- Un local technique regroupant l'ensemble des machineries servant à actionner les clapets.

- Un local commande situé sur le bajoyer entre les deux écluses qui constituera le centre névralgique du barrage de Vives-Eaux.
- Le barrage s'étend de la rive droite jusqu'au bajoyer de la grande écluse. La partie immergée du bajoyer, le redan, se trouve dans l'emprise du barrage. Il a donc fallu procéder à sa démolition sans interrompre le trafic fluvial, tout en préservant la stabilité du bajoyer qui a dû être renforcé par des micropieux.



CLAPET 3D

- 2- Hausses défaiçantes.
- 3- Clapet 3D.
- 4- Vue d'ensemble du projet.

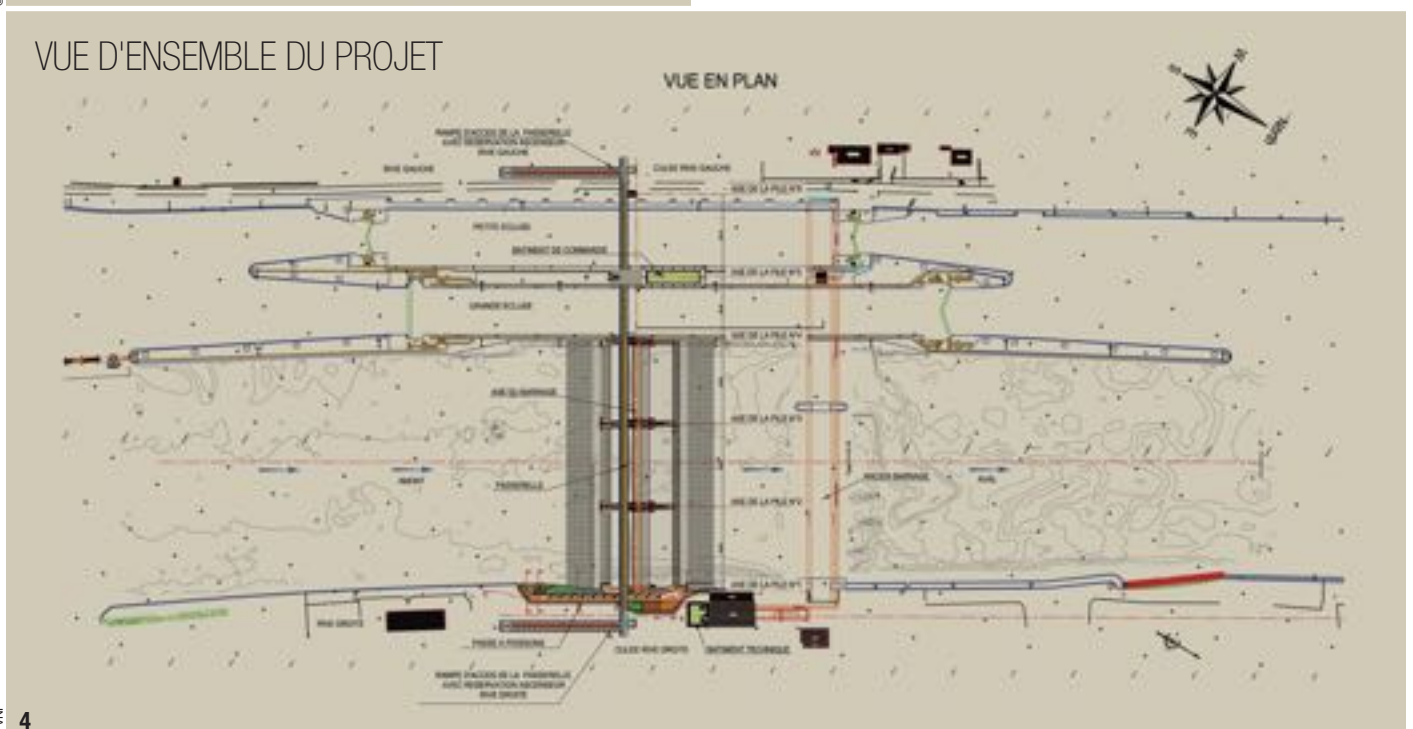
- 2- Defective spillway gates.
- 3- Check valve, 3D view.
- 4- General view of the project.

### CONCEPTION GÉNÉRALE DU PROJET

L'ensemble du barrage est soumis à diverses contraintes du fait de ses multiples fonctionnalités :

- 1- Il doit servir de support à la passerelle faisant la liaison piétonne entre les deux rives.
- 2- Il sert de support aux clapets qui régulent les niveaux d'eaux.
- 3- Il doit permettre la mise hors d'eau des passes lors de la maintenance des clapets via des bouchures à l'amont et des batardeaux à l'aval, ▷

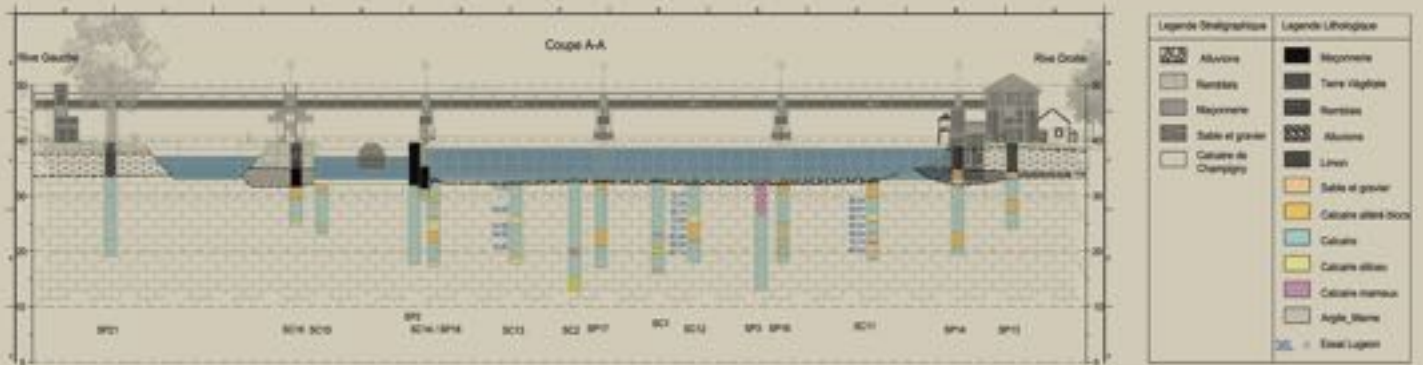
VUE D'ENSEMBLE DU PROJET



4  
© VNF

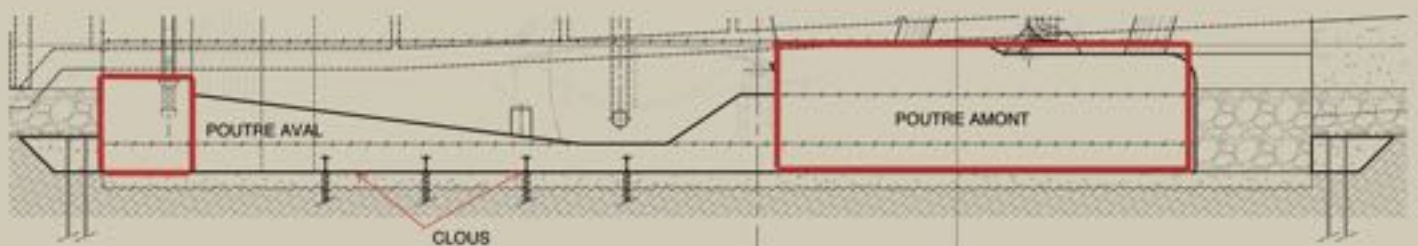


## COUPE GÉOTECHNIQUE



5

## COUPE SUR RADIER



6

© ISC

créant un différentiel important de près de 8 m de colonne d'eau. Le fonctionnement global s'apparente, au droit des piles, à celui d'un ouvrage poids.

### LES FONDATIONS

Les terrains ont fait l'objet d'une première investigation en 1966 lors des travaux de construction de la grande écluse complétée par une mission G2 préconisant une attention particulière à la perméabilité des sols ainsi qu'à la stabilité du fond de fouille.

L'ouvrage est fondé superficiellement, sur radier. Celui-ci s'appuie sur le toit du substratum rocheux com-

posé de calcaire de Champigny sain et de calcaire marneux fracturé à la cote de 30,94 NGF. Ce sol a la particularité d'avoir de bonnes capacités mécaniques (résistance de 25 Mpa à la compression pour le calcaire de Champigny), mais son caractère fracturé occasionne des infiltrations d'eau importantes qui nécessitent des injections et un traitement spécifique au niveau des batardeaux pendant la réalisation des travaux (figure 5).

Les ouvrages annexes sur berge se situent 8 m au-dessus du fond de la Seine. Les caractéristiques des sols étant plus faibles à cet endroit, il a été retenu de fonder ces ouvrages

**5- Coupe géotechnique.**

**6- Coupe sur radier.**

**7a- Plan de calepinage des clous du barrage.**

**7b- Platine en tête de clou d'ancrage.**

**5- Geotechnical cross section.**

**6- Cross section on invert.**

**7a- Pattern layout drawing of dam studs.**

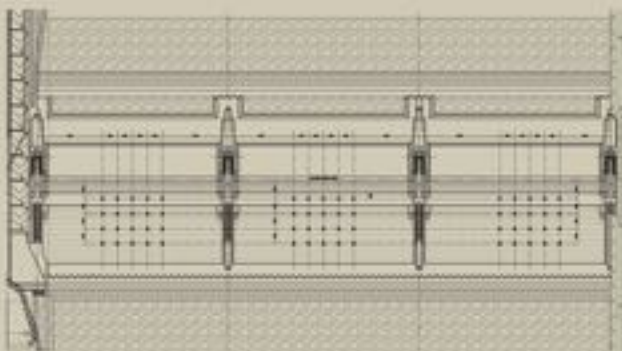
**7b- Anchoring stud top plate.**

sur micropieux. Le principal but visé étant d'éviter les tassements différentiels entre les ouvrages en eau et les ouvrages de rive.

### LE RADIER

Le radier de 96 m de longueur, 27,5 m de largeur et de 2 m d'épaisseur moyenne est profilé au droit du clapet afin de réguler les turbulences créées par la chute d'eau. On y retrouve en extrémité, à l'amont et à l'aval, des poutres faisant la liaison entre deux piles successives. Ces poutres aident à transmettre les efforts repris par le radier aux piles qui leur servent d'appui face aux sous-pressions (figure 6).

## PLAN DE CALEPINAGE des clous du barrage



7a

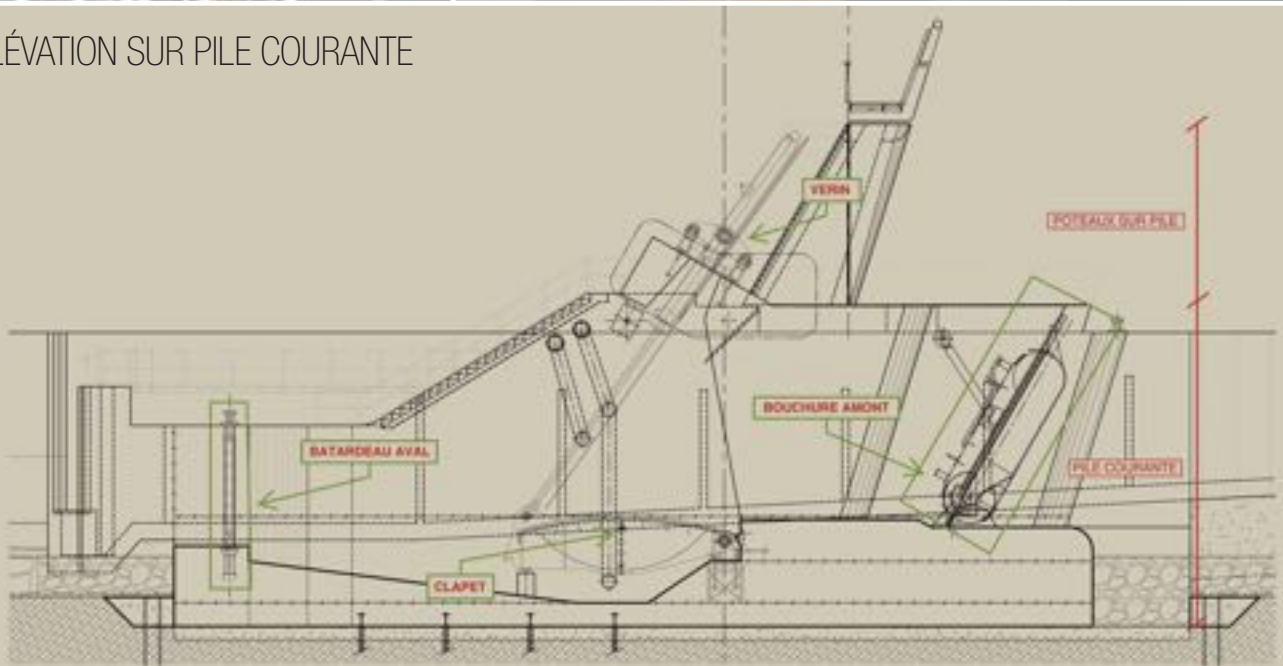


7b

© ISC



## ÉLÉVATION SUR PILE COURANTE



Dans la partie la moins raide du radier, un complément est apporté à l'aide de clous d'ancrage. On retrouve donc dans chaque passe 20 clous soit un total de 60 clous pour l'ensemble du barrage. Ces clous sont constitués de barres Macalloy Ø 40 mm fichées de 10 m dans le toit du substratum et ancrées dans le radier via des platines (figures 7a & 7b).

Le radier présente une quantité importante d'armatures compte tenu de ses dimensions (150 t d'acier pour 1800 m<sup>3</sup> de béton par passe), ce qui en fait un ouvrage particulièrement technique. D'autant plus qu'il faut y intégrer l'ensemble des inserts qui serviront à mettre en place la vantellerie (paliers support de clapet, potelets

**8- Ferrailage du radier - Palier support de clapet.**

**9- Le vérin et son support.**

**10- Élévation sur pile courante.**

**8- Invert reinforcement - Check valve mounting bearing.**

**9- The jack and its mounting.**

**10- Elevation on standard pier.**

pour batardeau, rails d'étanchéité pour bouchure amont, etc.) (figure 8).

### LES PILES

Les piles, d'une largeur moyenne de 1,90 m, d'une longueur de 27 m et d'environ 10 m de hauteur, ont été conçues pour recevoir les différents éléments de vantellerie permettant l'exploitation et la maintenance du barrage. Leur masse très élevée (900 t/pile) stabilise en grande partie le barrage face aux sous-pressions.

En tête de pile viennent se greffer les vérins qui servent à actionner le clapet. Ces vérins, en phase d'exploitation, exercent une poussée atteignant 280 t répartie sur appareils d'appuis (figure 9).

La bouchure amont et le batardeau aval sont tous les 2 amovibles. Ils s'emboîtent dans les piles et permettent de mettre la passe hors d'eau pour y effectuer des opérations de maintenance.

Dans le prolongement de la pile, les poteaux sur pile servent d'appui à la passerelle enjambant la Seine (figure 10).

Les piles sont aussi un objet architectural à part entière, à la fois fonctionnel et rappelant le caractère dynamique de l'écoulement de la Seine.

Ces contours très particuliers ont nécessité une grande attention aussi bien dans la phase de conception que lors de la mise en œuvre des armatures (figure 11).



## CONFORTEMENT DU BAJOYER EXISTANT

L'opération de confortement du bajoyer existant a été nécessaire pour plusieurs raisons :

- **En phase travaux :** les conditions de chargement du bajoyer sont modifiées du fait de la mise à sec coté rivière lors de la vidange du batardeau rive gauche.
- **En phase travaux :** la pile est coulée directement contre le bajoyer de la grande écluse, cela impliquant la prise en compte du béton frais.
- **En phase de maintenance :** la mise à sec coté rivière induite par la maintenance occasionnelle des clapets est un cas de chargement nouveau pour le bajoyer existant (figure 12a).

La solution micropieux a été arrêtée parce qu'elle est indépendante de l'état de portance du sol de fondation et pré-munit le bajoyer contre les risques liés à la démolition du redan (figure 12b) et au terrassement du calcaire en pied de bajoyer côté Seine. De plus, les micropieux sont scellés sur toute la hauteur du bajoyer et permettent de solliciter le



11

© ISC

moins possible le béton armé existant de cet ouvrage ancien. Cette solution permet aussi de limiter au maximum l'impact sur la navigation fluviale.

La structure de stabilisation du bajoyer au droit du futur barrage est constituée de 2 lignes de micropieux N80 Ø 127x12,5 mm en quinconce, d'un espacement de 1,5 m maximum par ligne (soit environ 50 micropieux). La longueur totale de chaque micropieu

**11- Ferrailage d'une pile courante.**

**12a- Réalisation des carottages dans le bajoyer.**

**12b- Démolition du redan.**

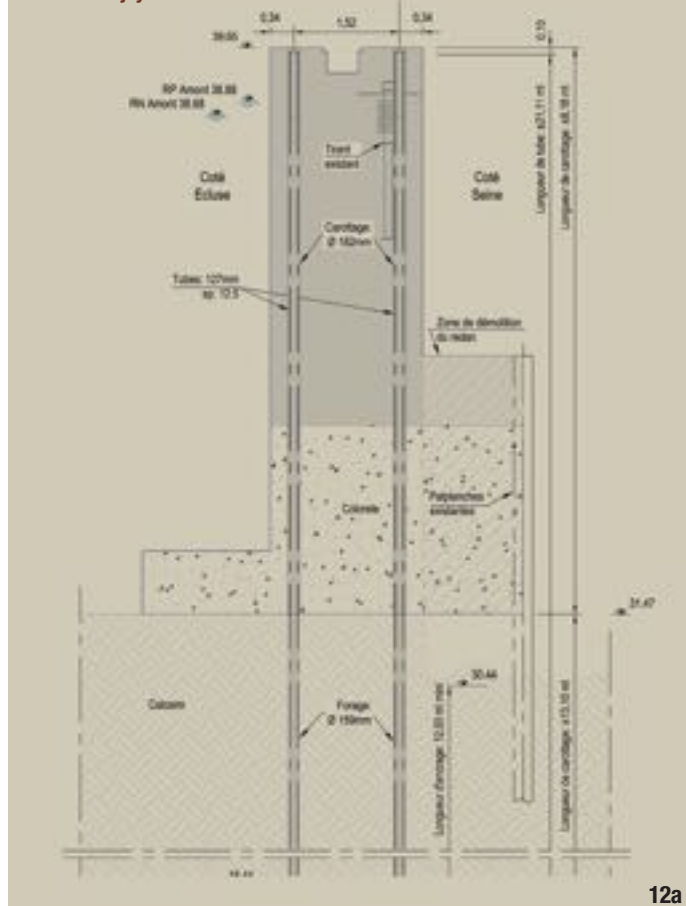
**11- reinforcement of a standard pier.**

**12a- Execution of core sampling in the lock wall.**

**12b- Demolition of the keyway.**

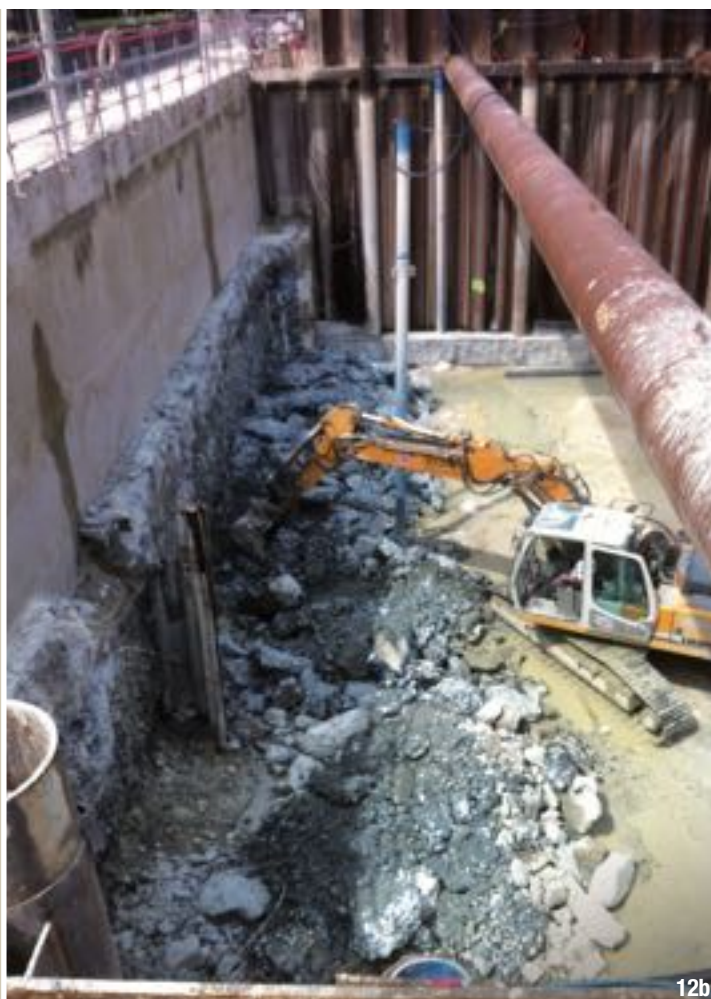
## RÉALISATION DES CAROTTAGES

dans le bajoyer



12a

© EMCC



12b

© ISC

## PASSE À POISSON (PAP) 3D



13

© ROUBY

est de 21 m dont 12 m fichés dans le calcaire sous le bajoier.

La mise en œuvre des ancrages nécessite l'utilisation de carottages Ø 182 mm pour minimiser l'impact sur le bajoier existant. Les forages dans le calcaire sont réalisés au marteau fond de trou Ø 159 mm puis injectés au coulis de ciment après mise en place des micro-pieux.

### LA PASSE À POISSON

La passe, d'une longueur de 65 m créera un accès aux poissons pour remonter la Seine via 12 bassins sur une dénivellée de 2,2 m. Elle est constituée d'un passage de 3 m de largeur tapissé de rocher et d'un débit d'attrait servant à oxygéner l'eau pour y attirer les poissons (figure 13).

**13- Passe à poisson (PAP) 3D.**

**14- Photo du batardeau lors de la pose des clapets.**

**15- Forage d'un pieu métallique depuis une barge.**

**13- Fish pass, 3D view.**

**14- Photo of the cofferdam when installing check valves.**

**15- Steel pile drilling from a barge.**

Cette passe est équipée d'éléments de vantellerie partiellement automatisés pour son entretien et pour adapter le débit d'attrait en fonction des conditions d'écoulement.

Comme le radier, la passe est fondée sur le toit du substratum rocheux et fait face aux sous-pressions en phase de maintenance. Le poids propre de la passe compense les efforts à l'amont, tandis qu'à l'aval des clous constitués de 11 barres Macalloy Ø 40 mm fichées de 10 m assurent sa stabilité.

### LES OUVRAGES SUR BERGE

L'ensemble des ouvrages sur berge servant à l'exploitation du barrage a été placé hors d'atteinte de la crue 1910 pour garantir leur utilisation même en cas de crue exceptionnelle.

### LES MÉTHODES DE RÉALISATION

#### Phasage général :

Le phasage général s'articule autour de l'interdiction concernant la mise en place de batardeaux durant la période des crues hivernales. L'ensemble des batardeaux devant être recépé avant le 30 novembre.

La construction du barrage s'effectue par passes successives, la passe rive gauche a été réalisée au courant de l'année 2013, une deuxième passe englobant la passe à poisson et la passe rive droite est en cours de réalisation et, pour finir, la passe centrale sera réalisée courant d'année 2016 (figure 14).

#### Phasage type pour la réalisation d'une passe :

→ Réalisation des pieux, ▷



14

© GTM



15

© ISC



**16- Châssis  
du mât de  
bétonnage.**

**17- Mât de  
bétonnage.**

**16- Frame  
of concreting  
mast.**

**17- Concret-  
ing mast.**



16

## MÂT DE BÉTONNAGE



17

- Pose des palplanches et butons,
- Réalisation des rideaux d'étanchéité,
- Vidange du batardeau,
- Réalisation des clous d'ancrage,
- Construction du radier et des piles,
- Mise en place de la vantellerie (clapet, vérin et verrou),
- Test du clapet,
- Mise en eau,
- Recépage des palplanches du batardeau.

La construction du batardeau a été effectuée depuis des pontons servant à l'approvisionnement et au support du matériel.

Durant l'ensemble de l'opération, des barges avec tous types d'engins ont été utilisées (figure 15).

L'une des réponses à ces problématiques d'approvisionnement est la mise en place d'un mât de bétonnage à l'intérieur des batardeaux.

Ce mât d'une portée de 36 m, permet de couler les 1 800 m<sup>3</sup> de béton nécessaires à la réalisation du radier d'une passe tout en couvrant les 1 200 m<sup>2</sup> (30 x 40 m) des batardeaux les plus grands.

Afin de garantir son utilisation durant toute la durée de l'opération, le mât

est positionné au cœur du batardeau, nécessitant de le placer sur un châssis métallique provisoire, lui-même posé sur le béton de propreté et ancré au moyen de clous d'ancrage.

Ce châssis a été conçu et dimensionné sur mesure par le bureau de méthodes Isc.

Après bétonnage de l'ensemble du radier, le châssis est noyé dans le radier, puis le mât de bétonnage est récupéré pour être utilisé sur les passes suivantes.

## ORGANISATION DES ÉTUDES

Afin de faciliter les échanges et les interfaces, le groupement a choisi de confier les études à 2 entités de la Direction opérationnelle TP de Vinci Construction France, Isc (Vinci Construction France) pour le gros œuvre et au bureau d'études d'Emcc (Vinci Construction France) pour les batardeaux, et renforcement du bajoyer existant. Les méthodes de construction ont réalisées par les équipes de Demathieu-et-Bard et complétées par Isc. □

## INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Voies Navigables de France

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Artelia eau et environnement / Luc Weizmann Architecte

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES :**

- Emcc (Mandataire) (Vinci Construction France)
- Gtm TP IdF (Vinci Construction France)
- Demathieu-et-Bard
- Ducroq
- Roubu

**BUREAUX D'ÉTUDES EXE :** Ingénierie des Structures et des Chantiers (Vinci Construction France)

## DONNÉES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

**DÉLAI DE RÉALISATION  
GLOBALE DES TRAVAUX :**

**48 mois**

**DÉMARRAGE DES TRAVAUX :**  
**fin 2013**

**LIVRAISON :**  
**2017**

**VOLUME TOTAL DE BÉTON :**

• Barrage (C35/45) :

7 800 m<sup>3</sup>

• Passe à poisson (C35/45) :

1 200 m<sup>3</sup>

**TONNAGE D'ACIER TOTAL :**

• Barrage (C35/45) :

610 t

• Passe à poisson (C35/45) :

90 t

**CLOUS D'ANCRAGE :**

710 m

**NOMBRE DE MICROPIEUX :**

30 u

**TERRASSEMENT :**

15 000 m<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### RECONSTRUCTION OF THE VIVES-EAUX DAM ON THE SEINE

F. ISCHIA, ISC (VINCI) - J. BOZZOLO, ISC (VINCI) - L. DUBREUIL, GTM TP IDF (VINCI) - V. SIELI, GTM TP IDF (VINCI)

The Vives-Eaux dam to be reconstructed on the Seine has three channels 28.50m wide, equipped with three fully automated check valves. The new dam is being built 70m upstream of the current dam. The works also include:

- > Construction of a control room;
- > A pedestrian bridge accessible to the public;
- > The creation of a fish pass on the right-hand edge of the dam. □

### RECONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE VIVES-EAUX EN EL SENA

F. ISCHIA, ISC (VINCI) - J. BOZZOLO, ISC (VINCI) - L. DUBREUIL, GTM TP IDF (VINCI) - V. SIELI, GTM TP IDF (VINCI)

La presa de Vives-Eaux en el Sena, que se va a reconstruir, consta de tres pasos de 28,50 m de ancho, equipados con tres compuertas de trampilla totalmente automatizadas. La nueva presa se construye 70 m aguas arriba de la presa actual. Las obras también incluyen:

- > La construcción de un local de mando,
- > Una pasarela peatonal accesible al público,
- > La creación de un paso para peces en la margen derecha de la presa. □



Membre du Réseau Congés Intempéries RTP

## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 400 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **270 000 salariés**.

### Nos coordonnées :

#### · Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

#### · Par Internet : [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)

#### · Par mail : sur [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr), lien [nous contacter](#)

#### · Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.07.77

#### · Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00



# RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS TRAVAUX

DEPUIS 1917, LA REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Nous vous invitons à découvrir prochainement dans **TRAVAUX**, une nouvelle présentation du répertoire des fournisseurs de matériels, équipements ou services. Des rubriques simplifiées pour une meilleure identification des métiers, nouveaux formats publicitaires pour optimiser la lisibilité des annonceurs. Nous sommes à votre disposition pour vous commenter et réserver l'emplacement publicitaire de votre choix.

**Pour réserver contactez Rive média :**

**Bertrand COSSON**

Tél. 01 42 21 89 04

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)

**Carine REININGER**

Tél. 01 42 21 89 05

[c.reininger@rive-media.fr](mailto:c.reininger@rive-media.fr)





© BALINEAU 1

# QUAI CROISIÈRE À FORT-DE-FRANCE. LE COMPACTAGE PAR VIBRATIONS COMME ALTERNATIVE ÉCOLOGIQUE AU DRAGAGE

AUTEURS : HERVÉ DUPLAINE, PRÉSIDENT, BALINEAU - BENOÎT SEIDLITZ, CHEF DU SERVICE INGÉNIERIE ET PROJETS, GRAND PORT MARITIME DE LA MARTINIQUE - ARIEL CROSNIER DE LASSICHERE, INGÉNIEUR TRAVAUX, BALINEAU - KATHLEEN DESIR, INGÉNIEUR STAGIAIRE, BALINEAU

LA MAÎTRISE COMBINÉE DE TECHNIQUES RELEVANT DE L'AMÉLIORATION DE SOL ET DES TRAVAUX MARITIMES PERMET PARFOIS DE CONTOURNER DE MANIÈRE ÉLÉGANTE CERTAINES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES LIÉES À L'ACTIVITÉ DE DRAGAGE. SUR LE PORT DE FORT-DE-FRANCE, L'AUGMENTATION DU TIRANT D'EAU DU QUAI CROISIÈRE A ÉTÉ OBTENUE PAR COMPACTAGE PAR VIBRATIONS DU FOND MARIN EN LIEU ET PLACE D'UN DRAGAGE CONVENTIONNEL.

Le Grand Port Maritime de la Martinique a vu son activité croisière croître de manière très importante ces dernières années. La taille des paquebots de croisière étant en continuelle augmentation, les infrastructures portuaires d'accueil

doivent être améliorées en permanence en termes de tirant d'eau et de capacités d'accostage et d'amarrage. Un appontement dédié uniquement à l'activité croisière a été construit au début des années 90 au niveau de la Pointe Simon. Cet ouvrage permet aux croisié-

**1- Extension  
du Quai Croisière.**

**1- Extension of  
the Cruise Quay.**

ristes d'accéder à pied directement au centre-ville de Fort-de-France au lieu de circuler au milieu des infrastructures portuaires et d'avoir ensuite à prendre un taxi. Cet ouvrage a été rallongé et ses capacités d'accostage et d'amarrage améliorées en 2012 (figure 1).

## PLAN DE SITUATION DES TRAVAUX



2



3

En 2014, de nouveaux travaux ont été nécessaires pour faire passer les fonds marins de -9,50 NGH à -10 NGH sur une surface de 1 000 m<sup>2</sup> environ pour permettre l'accueil de paquebots plus importants dont le tirant d'eau n'était pas compatible avec la bathymétrie des fonds marins à proximité de l'apponement. Sur le plan de situation des (figure 2) sont indiqués l'emprise de la zone à traiter, la localisation du plot d'essai ainsi que le plan de mouillage du ponton.

Les travaux devaient être réalisés pendant la saison croisière en avril 2014 entre deux escales de paquebots.

**2- Plan de situation des travaux.**

**3- Atelier nautique de dragage.**

**4- Atelier nautique de compactage par vibration.**

**2- Location drawing of the works.**

**3- Nautical dredging equipment.**

**4- Nautical vibration compaction equipment.**

Le temps alloué à la réalisation du chantier ne devait pas dépasser dix jours. À l'origine, la consultation portait sur une opération de dragage avec une benne (figure 3). En l'absence d'autorisation de dragage, de matériel adapté au transbordement des sédiments de dragage ainsi que de lieu d'accueil à terre pour ces sédiments de dragage considérés comme déchets, il n'était pas envisageable de respecter les dates de livraison souhaitées.

Une solution alternative au dragage, qui consistait en un compactage par vibrations des cinq mètres supérieurs du fond marin, a alors été proposée par

l'entreprise pour permettre de respecter les impératifs de programme du Grand Port Maritime de la Martinique.

En effet, les fonds marins à proximité de l'apponement sont composés de blocs madréporiques présentant un indice des vides élevé et de sables coralliens lâches d'une granulométrie compatible avec un compactage par vibrations. Cette solution présentait en outre l'avantage d'utiliser des moyens nautiques et de battage déjà présents en Martinique. Seul était à construire l'outil de compactage spécifique. C'est ainsi qu'a été réalisé l'atelier nautique de compactage par vibrations (figure 4). ▷



4





5  
© BALINEAU

Le Grand Port Maritime de la Martinique était par ailleurs familiarisé avec la technique de compactage par vibrations qui avait été déjà utilisée pour compacter des sables de remblai dans le cadre de traitements anti liquéfaction pour le quai des Annexes et pour le quai à Conteneurs de la Pointe des Grives (400 000 m<sup>3</sup> de matériaux traités).

Un plot d'essai a d'abord été réalisé en février 2014 pour confirmer la faisabilité de la solution proposée et valider les paramètres du traitement en termes de profondeur et de maillage et de garantir ainsi l'obtention de la côte recherchée de -10 NGH.

Un outil spécifique a été fabriqué pour le traitement. Il est constitué d'un tube métallique de 711 mm de diamètre extérieur muni d'ailettes à sa base permettant d'avoir un diamètre d'outil de

1,70 m. De nombreuses études ont été menées dans le passé pour optimiser la forme de l'outil de compactage, elles ont toutes conclu à une absence de sensibilité de la forme de l'outil sur les résultats obtenus. La conception a été guidée par la recherche d'une certaine souplesse de l'outil pour permettre la transmission des vibrations en pointe tout en ayant un volume mis en vibration important. Une partie de l'efficacité du traitement reposait sur la capacité à effondrer les blocs madréporiques (figure 5).

L'atelier nautique utilisé pour ces travaux était composé du ponton monobloc Victoria de 34 m de longueur et de 12 m de largeur équipé de 4 treuils hydrauliques de 5 t de capacité permettant son positionnement à partir de quatre corps morts. Une grue sur chenilles Hitachi KH 300 d'une capacité de

**5- Outil de compactage.**

**6- Mesure de l'efficacité du traitement.**

**5- Compaction tool.**

**6- Measuring the efficiency of treatment.**

90 t était positionnée à une extrémité du ponton.

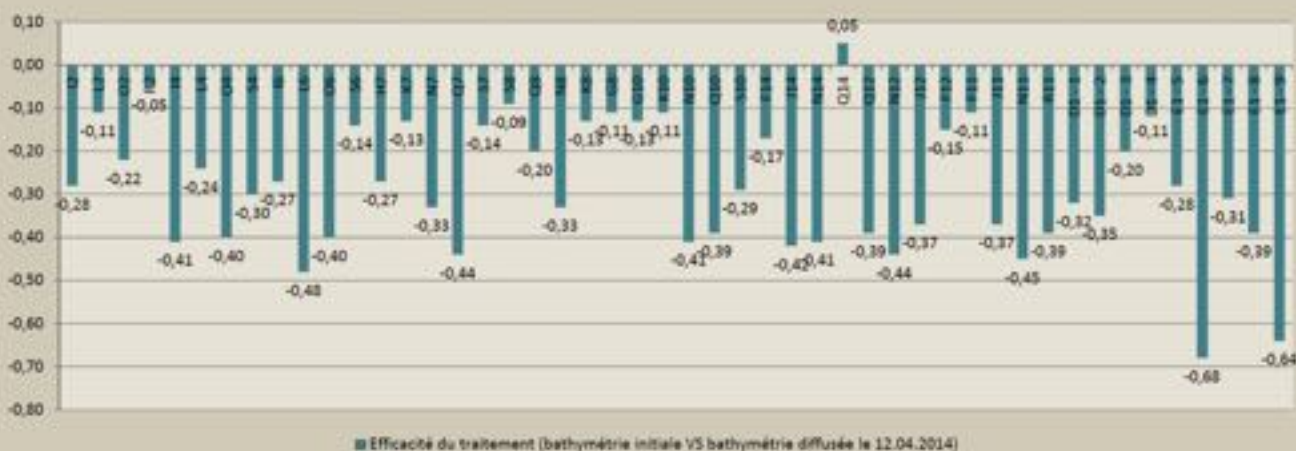
Deux vibreurs, PTC 25 H et ICE 416, équipés de leurs groupes hydrauliques permettaient la mise en vibration de l'outil en suspension.

Avec la maille de 1,5 m par 1,5 m et un temps de traitement de 5 minutes par

point, un tassement de 30 cm moyen a été obtenu (figure 6). La bathymétrie des fonds est ainsi passée de valeurs comprises entre -9,21 m NGH et -9,83 m NGH à des valeurs comprises entre -10,13 m NGH et -10,53 m NGH. L'objectif d'une côte -10 m NGH a ainsi été largement respectée.

Les bathymétries ne pouvant pas être réalisées en continu, il a fallu mettre en œuvre un moyen de contrôle du tassement obtenu simple et continu. Pour cela nous avons procédé à un levé des fonds par mesure à l'aide de l'outil de compactage posé sur le fond marin avant et pendant les travaux. Cette mesure, bien que manquant de précision du fait de l'enfoncement du tube dans le sol sous son propre poids, a permis toutefois d'avoir une vision qualitative relative entre l'état initial et l'état après travaux (figure 7).

## MESURE DE L'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT



■ Efficacité du traitement (bathymétrie initiale VS bathymétrie diffusée le 12.04.2014)

## MESURES À L'OUTIL DE COMPACTAGE



© BALINEAU  
7

En parallèle à la solution compactage par vibration, d'autres solutions qui auraient également fonctionné ont été envisagées : compactage dynamique sous-marin, Rapid Impact Compaction. Le compactage par vibrations a été retenu principalement pour des raisons de respect des délais. En effet les deux autres techniques citées auraient nécessité l'expédition de matériel spécifique depuis la métropole alors que la construction de l'outil de compactage par vibrations pouvait se faire localement. Des épaisseurs plus importantes pourraient être traitées en utilisant des vibreurs de vibroflotation qui permettent un traitement beaucoup plus profond.

En effet l'excitation du tube par un vibreur en tête ne permet guère de descendre à plus de 10 m de profondeur.

L'insertion de la source vibratoire dans le sol, au contact direct des sols à compacter, permet de traiter des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres (figure 8).

**7- Mesures à l'outil de compactage.**  
**8- Matériel de vibroflotation.**

**7- Compaction tool measurements.**

**8- Vibroflotation equipment.**

### CONCLUSION

L'utilisation de techniques de compactage par vibrations peut remplacer avantageusement un dragage lorsque les épaisseurs de sédiments à draguer sont faibles et que leur nature est sableuse. Cette technique permet notamment de ne pas générer de déchets tels que les sédiments de dragage et de se passer d'autorisation de dragage dans la mesure où il n'y a plus de dragage. Par ailleurs, pour de faibles quantités à draguer, l'économie du projet s'en trouve grandement améliorée. □

© MÉNARD



8

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Grand Port Maritime de la Martinique

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Grand Port Maritime de la Martinique, Service Infrastructures et Projets

**ENTREPRISE :** Balineau

**SOUS-TRAITANTS :** Cabinet Cetef (Géomètre)

Hydrotech Caraïbes (inspection vidéo en plongée)

### ABSTRACT

#### CRUISE QUAY AT FORT-DE-FRANCE. VIBRATION COMPACTION AS AN ECOLOGICAL ALTERNATIVE TO DREDGING

H. DUPLAINE, BALINEAU - B. SEIDLITZ - A. CROSNIER DE LASSICHERE, BALINEAU - K. DESIR, BALINEAU

**The method generally used to increase the draught in the vicinity of a landing stage is dredging.** When the materials involved are sandy and of moderate thickness, vibration compaction is an interesting alternative. Since no material is extracted, work permits can be obtained more easily and faster. Also, there is no need to find a landfill to receive dredging sediments, which has obvious environmental benefits. □

#### MUELLE DE CRUCEROS EN FORT-DE-FRANCE. LA COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICA AL DRAGADO

H. DUPLAINE, BALINEAU - B. SEIDLITZ - A. CROSNIER DE LASSICHERE, BALINEAU - K. DESIR, BALINEAU

**El aumento del calado en proximidad de un muelle suele realizarse por dragado.** Pero en presencia de materiales arenosos de escaso espesor, la compactación por vibración constituye una alternativa interesante. Dado que no se extrae ningún material, las autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras son menores y más rápidas de obtener. Asimismo, no se precisa un vertedero para acoger los sedimentos del dragado, lo cual presenta un claro interés medioambiental. □





© THOMAS LEBON/NATIVE STORIES/IMAGE IN PRODUCTION

# EXTENSION DU PORT EST À LA RÉUNION

AUTEURS : SYLVAIN FORRAY, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - DANIEL DUVAUT, GRAND PORT MARITIME DE LA RÉUNION - JEAN-MICHEL JEANTY, INGÉNIEUR PRINCIPAL BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE

**POUR AUGMENTER SA CAPACITÉ D'ACCUEIL DES PORTE-CONTENEURS, LE GRAND PORT MARITIME DE LA RÉUNION PROCÈDE À L'APPROFONDISSEMENT DE LA DARSE ET À L'EXTENSION DES QUAIS. SOLETANCHE BACHY EN GROUPEMENT AVEC FORINTECH RÉALISE UNE REPRISE EN SOUS-ŒUVRE DE QUAÏ PAR COLONNES DE JET GROUTING SÉCANTES ET UN NOUVEAU QUAÏ EN PAROI MOULÉE.**

## CONTEXTE

Le port de La Réunion assure 99 % en masse des échanges commerciaux de l'île, et les deux quais recevant les navires porte-conteneurs sont saturés. Le Grand Port Maritime de La Réunion a donc lancé un projet ambitieux pour augmenter fortement la capacité d'accueil et de déchargement du terminal. Le linéaire accostable passera de 480 m à 640 m, et la cote du fond de darse sera approfondie de 12,8 m à 15,5 m, permettant d'accueillir deux grands navires simultanément (figure 1).

Parallèlement, le Grand Port Maritime de La Réunion a décidé de renforcer l'outillage portuaire par l'acquisition de trois nouveaux portiques à conte-

neurs, afin d'augmenter la cadence de déchargement et de pouvoir opérer des navires comportant jusqu'à 21 rangées de conteneurs.

Ce projet, co-financé par le Fond Européen de Développement Economique et Régional (FEDER) et le ministère des Outre-Mer, s'inscrit dans la perspective de développement économique de l'île. Il traduit la volonté de transformer le port de La Réunion en un hub régional, avec la société CMA-CGM.

La particularité de ce marché est de suivre la procédure de consultation anticipée : il comporte les études de niveau projet et donc une responsabilité plus importante en termes de dimensionnement et de choix constructifs.

## TRAVAUX

Les travaux de fondation et génie civil se décomposent en deux sous-ensembles de conceptions totalement différentes.

### APPROFONDISSEMENT DU QUAÏ EXISTANT

Le quai existant, long de 515 m, présente un tirant d'eau de 13 m.

Ce quai a été construit en 1986 par excavation de la darse, pose de caissons en béton préfabriqués, et remblais. Ce quai fonctionne comme un soutènement de type « mur poids ». L'approfondissement de la darse devant les caissons, sans autres travaux supplémentaires, aurait conduit à une diminution de la sécurité du point de

vue de la stabilité avec le risque d'un basculement du quai. Le remplètement de ce quai est en effet égal à 2,5 m pour atteindre une cote de dragage de 15,5 m. Soletanche Bachy France a donc conçu et réalisé un rideau de colonnes sécantes de jet grouting. Les colonnes sont disposées sous le pied de quai existant, côté bassin : 4 m de hauteur, 1,25 m de diamètre et entraxe de 1 m. Ce nouveau mur de sol-ciment participe à la nouvelle fondation des caissons en béton et permettra l'excavation complémentaire de la darse avec une sécurité à la stabilité au moins comparable à celle de la situation initiale (les déchaussements localisés constatés avant le début des travaux ont été supprimés par le traitement).



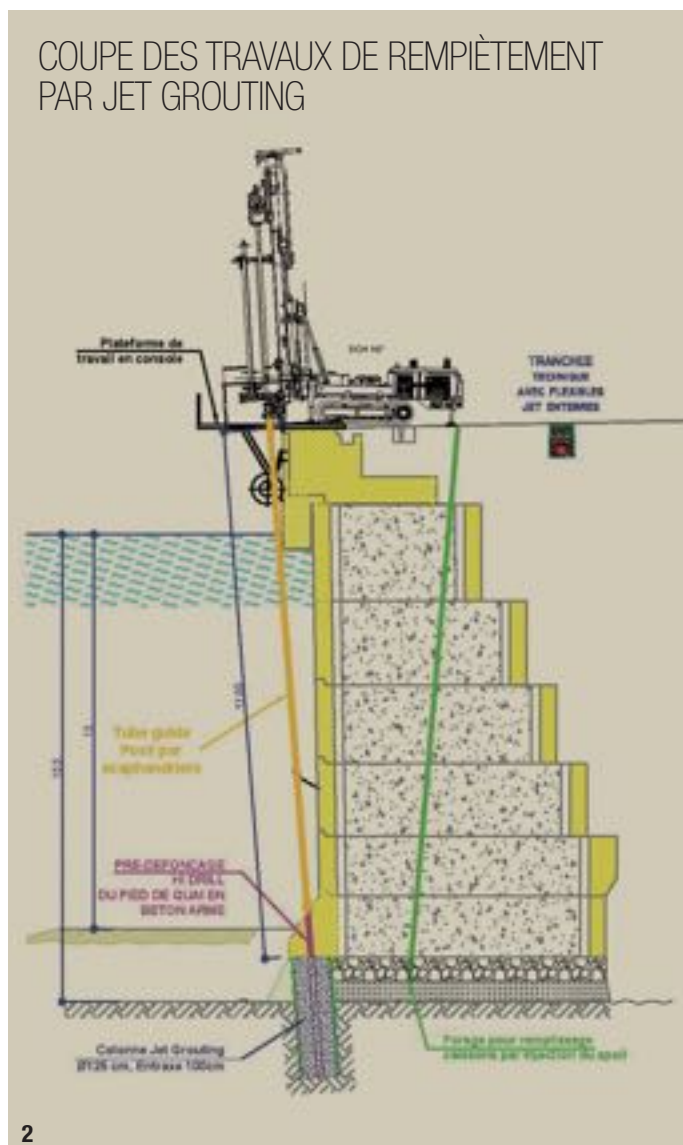
1 © THOMAS LEBON/NATIVE STORIES/IMAGE IN PRODUCTION

1- Vue des quais 10 et 11 du Port Est de la Réunion.  
2- Coupe des travaux de rempliement par jet grouting.

1- View of quays 10 and 11 of Port Est on Reunion Island.  
2- Cross section of jet grouting underpinning works.

Les particularités de ce chantier sont les suivantes :

→ Contrainte environnementale : Le jet grouting produit une quantité très importante de déchets - le spoil - constitué du coulis excédentaire utilisé pour découper le terrain, mélangé à une portion de sol. Afin de ne pas déverser le spoil dans le fond du bassin, un système a été imaginé pour canaliser et récupérer ce déchet en haut du quai. Un tubage est positionné à l'aide de plongeurs, et fixé sur le nez du quai. Une fois le tube fixé, une première foreuse vient pré-défoncer le béton du nez de quai, puis le terrain sur la hauteur de la colonne. Le jetting est alors réalisé par une seconde



foreuse, toujours bord à quai. Le spoil est ensuite partiellement réinjecté dans les caissons du quai (figures 2 et 4).

→ Le quai reste sous exploitation portuaire : il s'agit du seul quai de déchargement de conteneurs de la Réunion et tous les navires continuent d'être déchargés sur ce quai pendant les travaux. L'exploitation portuaire étant prioritaire sur les travaux, une organisation spécifique a été mise en place pour répondre aux exigences du port en termes de flexibilité (figure 3) :

- réalisation d'une tranchée enterrée pour les flexibles de coulis, afin d'installer très rapidement le poste de travail,
- construction d'une remorque travaux comportant tout le matériel support (groupe électrogène, éclairages, pompes, cribleur, ...),
- flexibilité horaire des équipes, avec des postes de nuit ou décalés en fonction des arrivées de navires,
- modification quotidienne des programmes.

Quarante personnes ont été mobilisées en pointe sur ces travaux ainsi que 4 foreuses. Commencée en août 2014, la réalisation des colonnes de jet grouting s'est achevée en mars 2015.

#### ALLONGEMENT DU QUAÏ

Un mur de quai de 155 m de long est construit en prolongation du quai existant.





3



4

© THOMAS LEBON/NATIVE STORIES/IMAGE IN PRODUCTION

**3- Foreuse de préforage et foreuse de jet grouting, remorque travaux.**

**4- Passerelles de travail et de récupération du spoil.**

**5- Vue générale de l'extension du quai : atelier de perforation.**

**6- Benne d'excavation.**

**3- Preliminary driller and jet grouting driller, work trailer.**

**4- Work and spoil recovery gangways.**

**5- General view of quay extension: drilling equipment.**

**6- Excavation bucket.**

Ce mur de quai est constitué d'une paroi moulée tirantée, sur laquelle la poutre de quai est coulée en place. Les tirants sont constitués de barres et sont passifs.

Après le dévoiement des réseaux en mai 2014, une paroi moulée en épaisseur 1 m a été réalisée avec un atelier de type grue sur chenille (LB855) équipée d'une benne à câble (figures 5 et 6).

Le terrain, constitué d'alluvions très compactes ( $PI > 8$  MPa) et comportant

des blocs métriques, a provoqué une usure très rapide et de nombreux bris d'outils : deux bennes et six poches ont été mobilisées pour le chantier, avec une moyenne de 4 changements de poche par semaine, et cinq à six soudeurs dédiés aux réparations (figure 7).

L'ampleur des moyens mis en œuvre a permis de tenir les délais et de ne jamais arrêter l'atelier d'excavation.

Par ailleurs, la zone de jonction entre le nouveau quai et le quai existant a

nécessité des travaux particuliers sur environ 20 m.

Après la purge d'un ouvrage béton enterré dont le but supposé était d'empêcher la fuite de particules fines sous l'action du marnage, un remblai en grave a été réalisé et une campagne d'injection a été menée. En effet, cette zone de fond de darse en remblais et enrochements laissait anticiper des pertes de boue bentonitique à travers le remblai, voire même une instabilité de celui-ci. Un maillage de forages a

été réalisé pour injecter du coulis de ciment et du mortier d'injection solide, (figure 8).

Après une série de forages de contrôle, la paroi moulée a été exécutée sans problème particulier.

Dans cette zone, un problème de conception s'est également posé suite à la réalisation de sondages pressiométriques : le remblai réalisé lors la construction du quai existant ayant été peu compacté, les poussées des terres résultant du calcul géotechnique ne



5



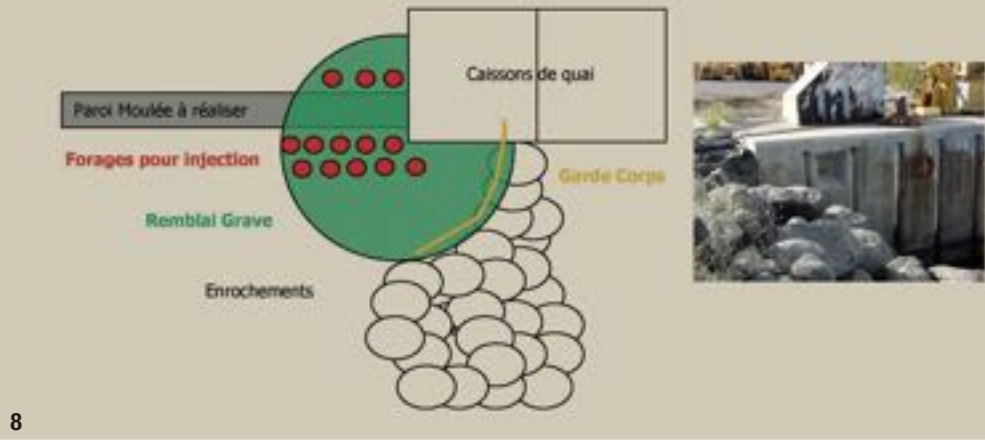
6

© THOMAS LEBON/NATIVE STORIES/IMAGE IN PRODUCTION



© SOLETANCHE BACHY  
7

## INJECTIONS EN ZONE DE JONCTION



8

permettent plus de réaliser un ouvrage en épaisseur 1 m.

Pour se retrouver dans une configuration semblable à la conception initiale, une solution d'amélioration de sol a été proposée au Grand Port Maritime afin de diminuer la poussée des terres : la réalisation de refends serrés et de très grande inertie constitués de colonnes de jet grouting séchantes (figure 9).

Un autre sujet délicat de ce chantier, fréquent à la Réunion, est la qualité du béton de fondations : en attestent les problèmes récurrents constatés lors des derniers chantiers dans ce domaine.

Conformément au marché, une grande attention a été portée sur ce point, avec la réalisation d'études poussées en laboratoire pour définir la formule, en collaboration entre le fournisseur et le laboratoire interne de Soletanche Bachy.

En effet, avec la nature des agrégats basaltiques présentant une forte absorption d'eau, il est difficile de mettre au point un béton à faible teneur en eau ( $e/c = 0,45$ ) présentant un maintien rhéologique long.

Enfin, l'intégration de nouveaux équipements portuaires a entraîné une modification du cahier des charges concernant la poutre de couronnement, qui comporte des appareils spécifiques servant à mettre en sécurité les portiques portuaires en cas de cyclone. Cette poutre est réalisée à partir du mois d'avril 2015.

**7- Poche de benne de perforation endommagée.**

**8- Injections en zone de jonction.**

**9- Coupe Amélioration de sol en zone de jonction.**

**7- Damaged drilling grab bucket.**

**8- Jet grouting in junction area.**

**9- Cross section of soil amendment in junction area.**

### SUITE DU PROJET

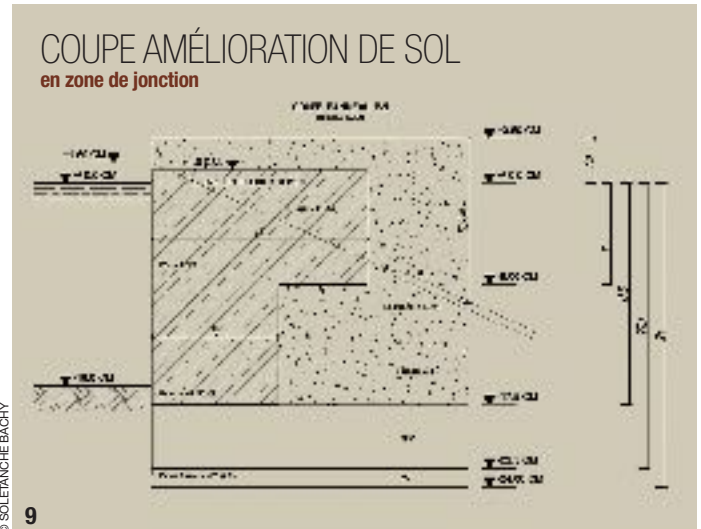
Une fois les travaux de rempiètement du quai et la poutre de couronnement terminés, le dragage de la darse à la nouvelle cote de terrassement sera réalisé dans le cadre du lot 2.

Ce terrassement conduira au déplacement de la paroi moulée par équilibre

entre poussée, butée et réactions d'appui sur les tirants.

Le rail pour les portiques pourra alors être posé, une fois ce déplacement accompli.

La poutre arrière sera construite entre-temps, permettant ainsi de recevoir les nouveaux portiques dès cet automne. □



© SOLETANCHE BACHY  
9

### INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Grand Port Maritime de la Réunion

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Artelia

**CSPS :** Socotec

**LOT 1 FONDATIONS ET GÉNIE CIVIL :** groupement Soletanche Bachy France / Forintech

**LOT 2 TERRASSEMENTS ET DRAGAGES :** Sbtpt / Sogea / Sdi

### QUANTITÉS

**PAROI MOULÉE :**

Longueur : 155 m

Profondeur : 25,5 m

Volume de béton : 4 000 m<sup>3</sup>

**TIRANTS D'ANCRAGE :**

Nombre : 63

Longueur : 20 et 33 m

Linéaire total : 1 354 m

**GÉNIE CIVIL :**

Volume de béton : 1 200 m<sup>3</sup>

**JET GROUTING :**

Nombre de colonnes : 530

Linéaire de perforation : 4 080 m

Ciment utilisé : 7 000 t

### ABSTRACT

#### EXTENSION OF PORT EST ON REUNION ISLAND

S. FORRAY, SOLETANCHE BACHY - D. DUVAUT - J.-M. JEANTY, SOLETANCHE BACHY

**As part of the development of Grand Port Maritime de la Réunion, Soletanche Bachy France, in a consortium with Forintech, won the tender for foundation and civil engineering works for extension of the Container Terminal. In order to receive larger-gauge vessels, the existing dock must be deepened and the quay lengthened. The works were therefore divided into two sub-projects: underpinning of the existing quay with secant jet grouting columns, before dredging the dock, and construction of a new unloading quay following on from the existing one, in the form of a diaphragm wall. □**

#### AMPLIACIÓN DEL PUERTO ESTE EN LA REUNIÓN

S. FORRAY, SOLETANCHE BACHY - D. DUVAUT - J.-M. JEANTY, SOLETANCHE BACHY

**En el marco del desarrollo del Gran Puerto Marítimo de la Reunión, Soletanche Bachy France, en colaboración con Forintech, ha ganado la licitación para las obras de cimentación e ingeniería civil de la ampliación de la terminal de contenedores. Para poder acoger buques de mayor gálibo, es preciso aumentar la profundidad de la dársena existente y alargar el muelle. Por tanto, las obras se dividirán en dos partes: el apuntalamiento del muelle existente con columnas de jet grouting secantes, previamente al dragado de la dársena, y la realización de un nuevo muelle de descarga a continuación del existente, en forma de muro pantalla. □**





© SAIPEM S.A. 1

# CONGO RIVER CROSSING - UN PROJET MARITIME ET SOUTERRAIN

AUTEURS : XAVIER PIEL, CHEF DE PROJET, SAIPEM - JEAN-MARC PISTON, CHEF DE PROJET ADJOINT RESPONSABLE DES OPÉRATIONS, SAIPEM

**EN 2014, SAIPEM A TERMINÉ L'INSTALLATION DES PIPELINES, PLATEFORMES ET STRUCTURES SOUS-MARINES DANS LE CADRE DU PROJET QUI CONDUIRA LE GAZ DU CABINDA (ANGOLA) À SOYO (ANGOLA) EN TRAVERSANT LES EAUX DE LA RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO ET LE PROFOND CANYON DE LA RIVIÈRE CONGO. LE PROJET A MOBILISÉ UNE LARGE FLOTTE DE NAVIRES D'INSTALLATION ET REQUIS D'IMPORTANTES TRAVAUX DE PLONGÉE SOUS-MARINE.**

## UN PEU DE GÉOGRAPHIE

Particularité remarquable, la province de Cabinda est une enclave angolaise située entre le Congo Brazzaville et la République Démocratique du Congo (RDC). Elle se trouve isolée du reste de l'Angola par le fleuve Congo et par une bande de terre à peine large de 40 km qui confère à la RDC un accès à l'océan Atlantique. La configuration maritime est elle aussi originale : le domaine maritime de la RDC se trouve encadré par les eaux angolaises dont

le block 0 (zone d'exploitation pétrolière) situé au large de Cabinda au nord et le block 2 au large de Soyo au Sud. Surtout, le fond marin présente un canyon impressionnant creusé par la course du fleuve Congo se jetant dans l'Atlantique (figure 2).

## LE PROJET

L'embouchure du fleuve dispose d'importantes réserves fossiles, générant une forte activité pétrolière. Celle-ci était jusqu'à présent scindée de part et

d'autre de la frontière naturelle constituée par la rivière et son canyon.

Dans le cadre du concept de production de gaz naturel liquéfié dans la nouvelle usine de traitement et d'export de gaz au sud de l'embouchure du Congo, à Soyo en Angola, l'idée a été formulée d'alimenter celle-ci avec une partie du gaz produit dans la région de Cabinda. Pour cela il faut franchir le canyon ! Ainsi est né le projet « Congo River Crossing », connu sous le sigle CRX. Cabinda Gulf Oil Company Ltd (CAB-

**1- Saipem pendant le hook up de SPP.**

**1- Saipem during SPP hook-up.**

GOC) qui est la filiale de Chevron en Angola a confié une partie du projet CRX global à Saipem au travers d'un double contrat couvrant :

- Le transport et l'installation des deux plateformes NPP et SPP respectivement de part et d'autre du canyon ;
- Les études de détails, les approvisionnements, la construction et l'installation en mer de plus de 105 km de conduites ainsi que les structures sous-marines associées.

Le pipeline proprement dit se décompose en trois tronçons :

- Le premier reliant le complexe de South Nemba (figure 3) à celui de Sanha ;
- Le second atteignant ensuite la plateforme NPP installée pour l'occasion au nord du canyon sous-marin ;
- Le dernier enfin partant au sud de celui-ci via la plateforme SPP pour rallier Soyo.

### LES ENJEUX POUR SAIPEM

Si les techniques d'installation associées au projet CRX restent assez classiques, on peut citer parmi les principaux enjeux :

- Le délai initial d'exécution très court qui exigeait de commencer la fabrication des structures sous-marines, d'installer les deux plateformes ainsi que de débiter la pose la première section de pipeline à peine 8 mois après la sanction du contrat. Ceci a nécessité un travail d'ingénierie accéléré, autant sur la conception des structures et l'établissement précoce de métrés permettant de



© SAIPEM S.A.

**2- Terres et mers de RDC et d'Angola.**

**3- Complexe de South Nemba (offshore Cabinda).**

**2- Land and sea territories of RDC and Angola.**

**3- South Nemba complex (offshore Cabinda).**

- lancer les approvisionnements très tôt, que sur le développement de méthodes de détails pour les premières phases d'installation.
- La complexité logistique liée à l'importation de matériel en Angola, à la mobilisation de moyens navals depuis plusieurs points du globe aussi opposés que le golfe du Mexique, l'Europe du nord et Singapour par exemple, à l'exécution des activités offshore dans deux pays différents (Angola et RDC) et la nécessité de faire circuler les

navires et leurs cargaisons entre quatre juridictions différentes au sein même de l'Angola (Lobito, Soyo, Luanda, Cabinda).

- La grande variété de la flotte impliquée à différentes phases du projet dont les barges Saipem 355 et Castoro 7 (figure 5) pour la pose de pipe « en S » avec leur 5 bateaux d'assistance pour le mouvement de leurs ancres, 6 navires pour le transport des pipes depuis le Royaume Uni jusqu'en Angola (figure 6), plusieurs « feeders » pour transférer ces pipes des navires de transport vers les barges de pose, la Saipem 3000 pour l'installation des structures lourdes, la Saipem 230 pour les travaux de finition sur les plateformes, le Bar Protector et le Skandi Singapore spécialisés pour les travaux de plongée sous-marine, les barges de transport UR99, Vervecce, C14 et C15 et leurs remorqueurs, ainsi que toute la flotte de bateau d'assistance et de transport de personnel.

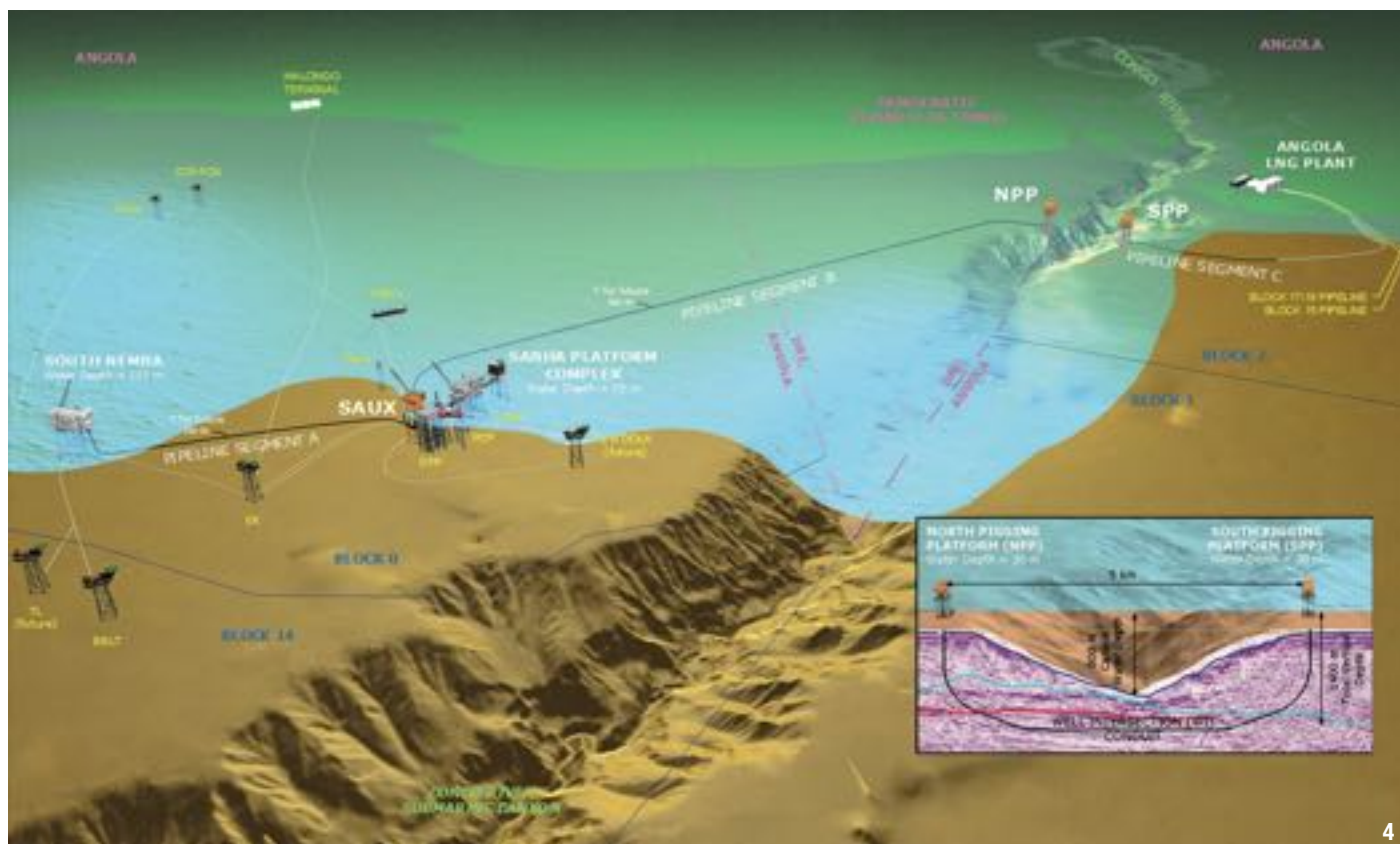
### LE CONTENU LOCAL

Comme dans chacun de ses projets, Saipem s'emploie à développer une forte activité dans le pays hôte. Son bureau local d'engineering et de management NEWCO est opérationnel à Luanda depuis fin 2012. Avec une centaine d'ingénieurs et techniciens, le bureau offre des capacités dans les domaines de dessin industriel, calcul de structures, tuyauterie, génie des procédés et systèmes sous-marins notamment. ▷



© SAIPEM S.A.





4

© CABOCC

Le projet CRX a été l'un des premiers à y réaliser plusieurs milliers d'heures d'études.

Le projet a également pu compter sur le site de construction de Petromar à Soyo pour la fabrication d'environ 700 t de structures sous-marines, la préparation de 14 tuyauteries de raccordement horizontales (spools) et 2 sections verticales (risers) de plus de 60 m chacune (figure 7). La plus grosse structure (appelée « subsea Bypass ») pèse à elle seule environ 330 t et s'inscrit dans un volume de 26 m de long, 20 m de large et 6 m de hauteur ! (figure 8). Petromar, filiale locale de Saipem en partenariat avec Sonangol, a notamment mis en œuvre pour le projet ses capacités récemment internalisées de contrôles non destructifs

des soudures, d'application de peinture et d'exécution des essais de réception comme les tests en pression notamment. Les objets réalisés ont ensuite été chargés sur les barges de transport grâce aux grues de 250 t et 500 t ainsi qu'aux remorques automotrices multi-roues d'une capacité de 600 t.

#### LES PRINCIPALES TECHNIQUES D'INSTALLATION

**La pose en S** - L'installation du pipeline s'est déroulée en deux phases. La Saipem 355, barge de 108 m de long sur 30 m de large, a posé une section de 15 km début 2013. La Castoro 7, barge semi-submersible de 180 m de long par 60 m de large, s'est chargée des deux autres sections à l'automne 2013 pour un total d'environ 93 km.

#### 4- Infographie 3D de l'architecture du développement CRX.

#### 5- La Castoro 7 : barge Saipem de pose de pipeline.

#### 6- Chargement de pipes dans un navire de transport.

#### 4- 3D computer graphics of the CRX development architecture.

#### 5- The Castoro 7: Saipem pipeline laying barge.

#### 6- Loading pipes in a transport vessel.

Les tubes de 508 mm et 558 mm de diamètre, fournis par le client, étaient revêtus d'une protection anticorrosion à base de polyéthylène ainsi que d'une épaisseur de 40 à 70 mm de béton destinée à lester la conduite et assurer sa stabilisation. Dans des profondeurs d'eau variant de 15 à 120 m, la technique d'installation (dite de « pose en S ») consiste à assembler les tubes de 12 m par soudage dans une unité de fabrication en ligne à bord du bateau (figure 9). La sortie à l'arrière du bateau et la dépose sur le fond marin sont contrôlées à l'aide d'une rampe sous-marine équipée de rouleaux de guidage (le stinger). La chaîne de pipeline est ainsi continuellement rallongée au fur et à mesure de l'avance cadencée de la barge. La Castoro 7



5



6

© SAIPEM S.A.

**7- Stockage de spools et de sections de riser sur le site de Petromar.**

**8- Fabrication de structures sous-marines à Soyo.**

**9- Soudage de pipes dans la ligne de production de la Castoro 7.**

**10- Dépose de pipeline par la barge Castoro 7.**

**7- Storage of spools and riser sections on the Petromar site.**

**8- Manufacture of subsea structures at Soyo.**

**9- Pipe welding on the Castoro 7 production line.**

**10- Pipeline placing by Castoro 7 barge.**



© SAIPEM S.A.

dispose de deux zones de préfabrication de double joints (24 m) qui alimentent la chaîne de soudage principale constituée pour CRX de 12 stations de travail où se succèdent les opérations de rabotage, soudage, contrôle des soudures, application de protection anticorrosion et reconstitution de l'épaisseur de béton par moulage de polyurethane. Les barges telles que la S355 et la C7 ne sont pas autopropulsées mais sont positionnées et déplacées lors de la pose au moyen de lignes d'ancres. Lorsque chaque station a terminé son

travail sur sa soudure respective, le capitaine fait tirer sur les lignes d'ancres amont pour les raccourcir et fait relâcher les lignes aval pour les allonger et ainsi faire avancer la barge de 24 m. Ce sont donc 24 m de pipeline qui sortent le long de la rampe à rouleaux à l'arrière de la barge (figure 10) et 24 m en bas de caténaire qui se déposent sur le sol.

Régulièrement, des bateaux d'assistance déplacent l'extrémité des lignes d'ancres pour regagner l'amplitude de mouvement nécessaire à l'avancement.

Si cette technique de pose est assez classique, l'enjeu réside dans l'efficacité de chaque tâche individuelle et dans la parfaite coordination de l'ensemble. Pour CRX s'ajoutaient deux facteurs de criticité supplémentaires : les forts courants présents dans l'embouchure de la rivière Congo rendaient les activités marines particulièrement sensibles, les exigences de Chevron quant à la qualité de soudage interdisant tout défaut dans la racine de la soudure, qui ont nécessité un contrôle accentué.

**Les levages** - Pour tous les levages en mer, Saipem a fait appel à la Saipem 3000 (figures 11a & 11b). Plusieurs campagnes d'installation se sont succédé. Avec sa grue d'une capacité de 3000 t, ce navire a d'abord assuré quatre gros levages, dont le plus important de 1 000 t, pour l'installation des plateformes NPP et SPP en janvier 2013. Trois barges de transport sont allées charger les éléments à Lobito, au sud de l'Angola, avant de les acheminer sur site. La séquence d'installation a commencé avec la pose du quadripode et le battage des pieux de NPP en RDC. La même opération a ensuite été exécutée dans le block 2 en Angola pour la plateforme SPP suivie du levage et du soudage du pont supérieur associé (figure 12). Finalement la S3000 est revenue en RDC pour installer le pont supérieur de NPP. Les multiples traversées de frontière pour tous les bateaux engagés dans les opérations ont requis de nombreuses concertations de la part de Saipem et Chevron, ponctuées d'accords avec les autorités des deux pays concernés. En septembre 2014, la S3000 a déposé à leur emplacement sur le fond marin les cinq structures principales fabriquées à Soyo ▷



© SAIPEM S.A.



© SAIPEM S.A.



10





11a



11b

© SAIPEM S.A.

(figure 13) et mis à l'eau les tuyauteries de raccordement après, pour certaines, en avoir terminé la fabrication « sur mesure » à bord du bateau. Grâce à l'installation d'extensions temporaires sur le côté de la coque, les équipes de la S3000 ont réalisé le raboutage horizontal des deux sections qui devaient constituer le riser de plus de 120 m de long. L'utilisation simultanée des deux grues principales du bateau a été nécessaire pour mettre l'ensemble à l'eau et basculer le riser à la verticale avant de le mettre en place dans sa position finale le long des jambes du quadripode de South Nembra, à l'aide d'un treuil placé pour l'occasion sur la plateforme et avec le concours de cordistes spécialisés (figures 3 et 14).

**La plongée en saturation** - Dans un projet offshore tel que Congo River Crossing où les profondeurs d'eau le permettent, nombre d'activités sous-marines sont réalisées par plongeurs : inspection visuelle, prise de mesures, aide au positionnement des raccordements, mise en place et serrage de la boulonnerie pour interconnecter pipelines, structures et raccordements, etc. Au-dessous de 20 m de profondeur, il est nécessaire d'adopter une technique de plongée particulière dite de « saturation ». L'organisme humain ne pouvant supporter des variations de pression importantes et rapides, les plongeurs sont placés dans des chambres de compression qui les maintiennent, lorsqu'ils sont à bord du bateau, à une pression ambiante identique à celle subie dans l'eau à la profondeur d'exécution des travaux. Ils respirent un mélange gazeux spécifique et se relaient pour des plongées de travail à durée limitée afin d'assurer leur sécurité. Les plongeurs restent « en saturation » pour une durée maximale de 28 jours à l'issue de laquelle ils doi-

vent se trouver à nouveau à pression atmosphérique, sortir de la chambre de compression et rentrer chez eux pour une période de repos. Les variations de pression lors de changements de profondeur sont effectuées par paliers et peuvent nécessiter plusieurs jours. Les meilleurs bateaux dédiés à ce type d'activité sont donc équipés en conséquence et possèdent plusieurs chambres de compression pour pouvoir maintenir une équipe au travail pendant que d'autres suivent les cycles de décompression. Deux campagnes ont été réalisées pour le projet CRX avec le Bar Protector et le Skandi Singapore pour une durée totale de 2 000 heures de plongée, le plus souvent à 3 plongeurs.

#### QUELQUES POINTS CLEFS

**Sécurité** - La sécurité des hommes est la priorité dans chaque étape d'un projet mené par Saipem. La conception et les méthodes de mise en œuvre se doivent de tout prévoir pour minimiser les risques pour les équipes de fabrica-

**11a & b- S3000 :**  
bateau d'installation Saipem avec sa grue de 3 000 t.

**11- Levage du pont supérieur de SPP par la S3000.**

**11a & b- S3000:**  
Saipem installation vessel with its 3000-tonne crane.

**12- S3000 lifting the upper deck of SPP.**

tion, d'installation et d'utilisation finale des ouvrages. Des réunions spécifiques sont organisées de manière systématique afin de valider que toutes les mesures identifiables pour optimiser la sécurité ont été adoptées. Une fois la phase opérationnelle débutée, chaque tâche est analysée sous l'angle de la

sécurité et les consignes appropriées à l'activité du jour sont rappelées par petits groupes à chaque début de poste. Fort du constat que 40 % des incidents impliquent les mains des collaborateurs, Saipem a lancé en 2013 le programme de sensibilisation « Keep Your Hand Safe ». Vidéos, posters, processus d'inspection sécurité, nouveaux matériels, tous dédiés à la sécurité des mains, ont été déployés notamment sur chaque site et chaque bateau Saipem engagés sur le projet Congo River Crossing.

**Interfaces et Opérations Simultanées** - Une des particularités de CRX réside dans la nécessité pour Saipem d'intervenir avec sa flotte et ses équipes sur des sites multiples en présence d'autres infrastructures ou de tiers souvent eux-mêmes en opération. Cela requiert des discussions pour que les activités des uns respectent la présence et les contraintes des autres ainsi que pour permettre autant que possible les opérations simultanées (« Simops ») des différentes parties. Chez Saipem, cette prise en compte des interfaces est confiée à une équipe dédiée au sein des projets.

**Gestion des risques techniques** - C'est un point majeur de la réussite des projets. Une fois en mer, chaque difficulté peut prendre de larges proportions. Il est essentiel d'identifier les risques potentiels en amont, de prendre des mesures destinées à réduire leur probabilité et leur impact ainsi que de préparer des scénarios alternatifs en cas d'occurrence.

**Contexte pluriculturels** - Congo River Crossing est un grand projet international dans lequel opérateurs, client, maître d'œuvre et sous-traitants sont eux-mêmes multinationaux. Les équipages des bateaux engagés pour Saipem dans l'exécution du projet



12

© SAIPEM S.A.



© SAIPEM S.A.

13



14

représentent un total de plus de 2 000 personnes, nombre qui est quasiment doublé si l'on tient compte des rotations de personnels ! Français, Italiens, Angolais, Philippins, Indonésiens, Norvégiens, Britanniques, Australiens, Congolais, Indiens, Américains, Sud-africains... plusieurs dizaines de nationalités se côtoient ainsi quotidiennement, participant à la complexité logistique et linguistique mais aussi à la richesse culturelle du projet.

#### LA SUITE ET FIN DU PROJET

Lors du premier semestre 2015, il ne reste plus à Saipem pour terminer sa prestation sur le projet qu'à s'assurer de l'intégrité de l'ensemble des conduites, structures sous-marines et connexions puis de les valider par les essais de réception, notamment le test en pression. En parallèle, Saipem participe également à d'autres dévelop-

pements en cours en Angola, associés à l'usine LNG de Soyo ou au réseau de pipeline de CRX, tels les projets Mafumeira et Kizomba. □

**13- Installation en mer des structures sous-marines.**

**14- Transfert final du riser de South Nemba par les cordistes.**

**13- Offshore installation of subsea structures.**

**14- Final transfer of the South Nemba riser by rope-harnessed personnel.**

## GLOSSAIRE

**CABGOC** : Cabinda Gulf Oil Company Ltd

**CRX** : Congo River Crossing

**NPP** : North Pigging Platform

**RDC** : République Démocratique du Congo

**RISER** : Tuyauterie de raccordement fond / surface

**SPOOL** : Tuyauterie de raccordement horizontal

**SPP** : South Pigging Platform

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**105 km** de pipeline en **3 sections** reliant **5 sites**

**6 navires** principaux d'installation

**4 000 employés** Saipem mobilisés

**700 t** de structures et **14 spools** fabriquées en Angola

**2 000 heures** de plongée

## ABSTRACT

### CONGO RIVER CROSSING - AN OFFSHORE UNDERGROUND PROJECT

XAVIER PIEL, SAIPEM - JEAN-MARC PISTON, SAIPEM

**CAGGOC awarded SAIPEM** the contracts for installation of two pigging platforms and laying 105 km of pipeline as part of the overall project to deliver gas from offshore Cabinda to the LNG terminal in Soyo. Between those two locations in Angola, the gas has to travel across DRC waters and the Congo subsea canyon. Saipem deployed several vessels for heavy lifting and pipe laying operations, and saturation diving activities at water depths of 30 to 120 metres. Installation has been completed and Saipem's work will now be concluded by the pre-commissioning phase. □

### CONGO RIVER CROSSING - UN PROYECTO MARÍTIMO Y SUBTERRÁNEO

XAVIER PIEL, SAIPEM - JEAN-MARC PISTON, SAIPEM

**CAGGOC encargó a Saipem** la instalación de dos plataformas de pigging y el tendido de 105 km de conductos, en el marco del proyecto global de suministro de gas offshore desde Cabinda hasta la terminal de GNL de Soyo. Entre estas dos localidades angoleñas, el gas deberá cruzar las aguas de la República Democrática del Congo y el cañón submarino del Congo. Saipem ha desplegado varios buques para las operaciones de elevación de cargas pesadas, tendido de conductos y buceo de saturación a profundidades de entre 30 y 120 m. La instalación ha finalizado y la misión de Saipem concluirá tras la fase de puesta en servicio provisional. □





# CONFORTEMENT DU BARRAGE DU CHAMBON

AUTEURS : OLMIER CHULLIAT, RESPONSABLE DU CHANTIER, EDF CIH - CÉDRIC JANNIN, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE / VSL FRANCE - TANCRÈDE DE FOLLEVILLE, INGÉNIEUR EN CHEF, SETEC TPI

**LE BARRAGE DU CHAMBON EST SOUMIS À UN PHÉNOMÈNE D'ALCALI-RÉACTION SURTOUT SENSIBLE EN PARTIE SUPÉRIEURE DE L'OUVRAGE. CE PHÉNOMÈNE SE TRADUIT PAR UN GONFLEMENT DU BÉTON QUI INDUIT D'INFIMES DÉPLACEMENTS DE LA PARTIE HAUTE DU BARRAGE. UNE NOUVELLE CAMPAGNE DE TRAVAUX S'EST DÉROULÉE EN 2013 ET 2014 DANS LA CONTINUITÉ DE CELLES RÉALISÉES DANS LES ANNÉES 1990.**

## LA GENÈSE DU CHANTIER CONTEXTE

Le barrage du Chambon est un ouvrage poids d'une hauteur de 88 m au-dessus du terrain naturel (137 m sur fondation au droit du sillon glaciaire présent en fond de vallée) et

d'une longueur en crête de 294 m. Construit entre 1929 et 1935 sur la Haute-Romanche, à une altitude de 1 042 m, il est constitué de béton cyclopéen, dont le dosage en ciment varie de 150 à 250 kg/m<sup>3</sup>. Le barrage est soumis à un phéno-

mène d'alcali-réaction, entraînant la formation d'un gel à l'interface granulats/ciment et conduisant à l'expansion continue du béton.

Les premières conséquences ont été mises en évidence à partir de 1958 sur les deux parements du

barrage, ainsi que dans les galeries. À partir de cette date, les résultats de l'auscultation ont indiqué un comportement atypique, avec notamment la zone courbe se déformant vers l'amont. Plusieurs campagnes de reconnaissance ont été menées de 1967 à





© BOUYGUES TPRF - VSL FRANCE

1- Vue d'ensemble du parement aval, avec la vue sur le pic de la Meije.

2- Vue 3D de l'ouvrage et des tirants.

3- Vue 3D de l'ouvrage et du maillage carbone.

4- Vue 3D de l'ouvrage et des sciages.

5- Vue 3D de l'ouvrage et de la membrane d'étanchéité.

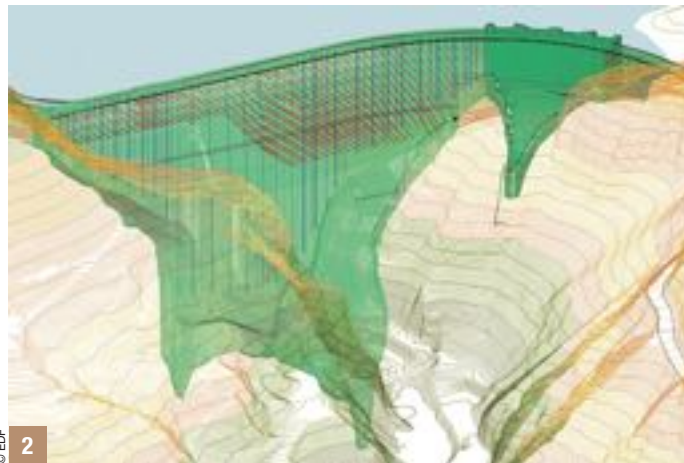
1- General view of downstream face, with view of the Meije peak.

2- 3D view of structure and tie rods.

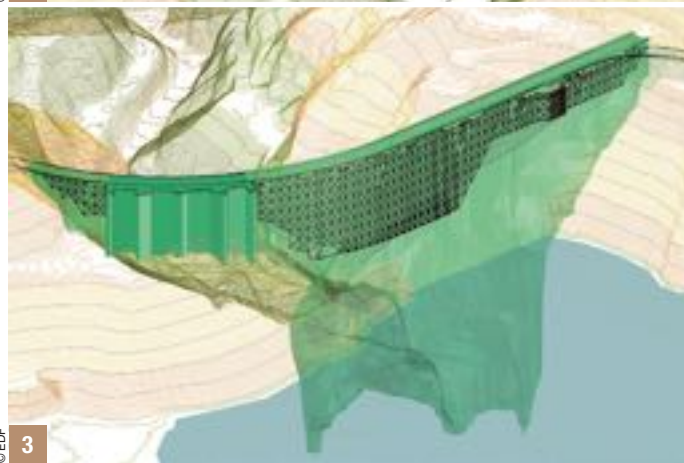
3- 3D view of structure and carbon meshing.

4- 3D view of structure and sawing.

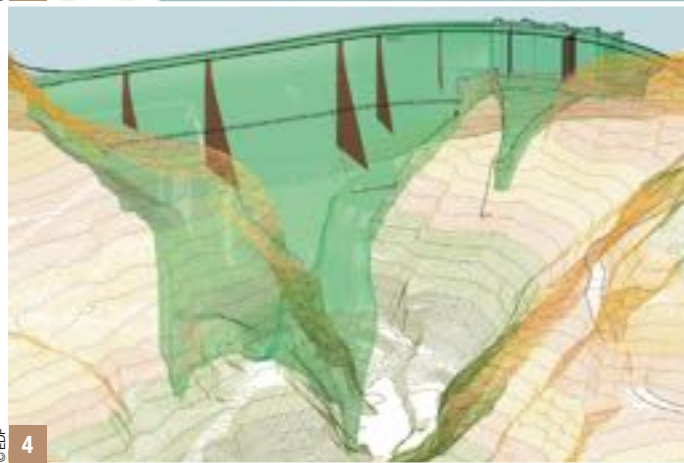
5- 3D view of structure and membrane barrier.



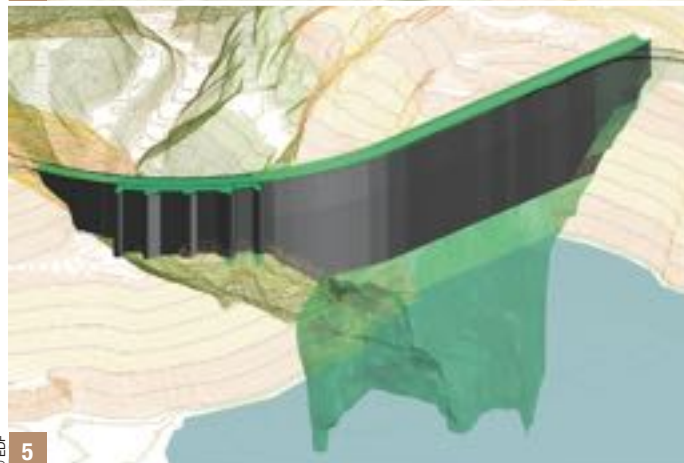
© EDF



© EDF



© EDF



© EDF

2010, confirmant la présence d'alcali-réaction et attribuant cette dernière à la nature des granulats utilisés dans la confection du béton.

D'importants travaux ont été menés dans les années 1990, afin de répondre aux conséquences de l'alcali-réaction : injection dans le béton, construction d'un nouvel évacuateur de crue et intégration de l'ancien au barrage, pose d'une membrane d'étanchéité en PVC sur les 40 m supérieurs du parement amont, réalisation de 8 saignées verticales de décompression au câble diamanté de 11 mm pour une section totale de 1900 m<sup>2</sup>, etc.

### DIAGNOSTIC

Un nouveau diagnostic complet de l'état du barrage a été réalisé entre 2007 et 2010, basé sur d'importantes campagnes de reconnaissance (carottages, essais mécaniques, caractérisation du potentiel de gonflement, mesures de contraintes par vérin plat et sur-carottage, caractérisation de la fondation et de son contact avec le barrage) et sur un modèle de calcul aux éléments finis reconstituant l'état de contraintes et de déformations de l'ouvrage.

Ce dernier, qui reconstitue la cinétique de la réaction chimique, est calé sur les déplacements et contraintes réels mesurés.

### TRAVAUX RÉALISÉS EN 2013 ET 2014

Suite à ce diagnostic, un nouveau projet de travaux a été élaboré par EDF. Ce programme de maintenance adapté, auquel étaient associés les pouvoirs publics, participait à l'effort global d'EDF pour renforcer la compétitivité et la sûreté de son parc de production, avec pour objectif d'améliorer, dans la durée, les performances, la fiabilité et la sûreté de ses ouvrages hydroélectriques.

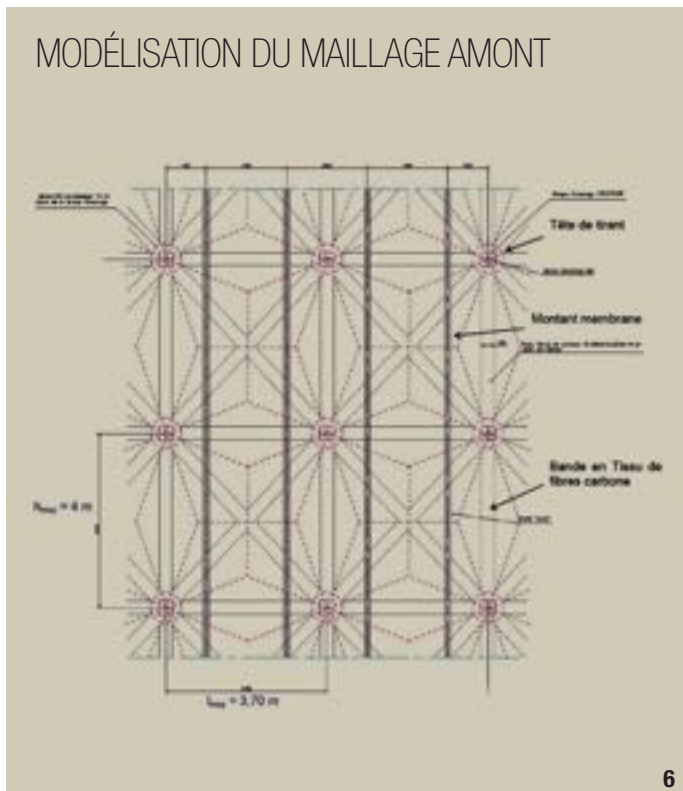
Comme tout ouvrage de génie civil, un barrage est soumis aux actions environnantes : pluie, neige, écarts de température, action des appuis, évolution de la structure interne.

EDF veille à ces différents phénomènes et les intègre dans ses travaux, lesquels sont précédés d'études complexes et détaillées.

Le projet a été soumis à l'approbation du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques et a reçu un avis favorable fin 2011. ▸



## MODÉLISATION DU MAILLAGE AMONT



6

© EDF

Le traitement de la fragilisation du béton dans le plan de drainage d'élévation est basé sur la mise en place de 415 tirants précontraints amont-aval (figure 2). Déjà pourvus d'une triple protection vis-à-vis de la corrosion, leur protection est encore renforcée côté amont par la présence de la membrane d'étanchéité sur l'intégralité de la zone renforcée.

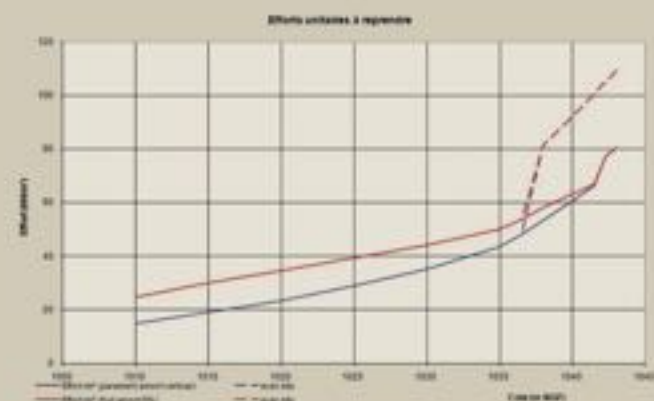
En complément du système de tirants mentionné ci-dessus, un treillis en fibres de carbone a été installé sur le parement amont du barrage.

Ce dernier est composé de bandes de tissu en fibres de carbone collées à

la résine epoxy, dans le but de créer un matériau composite. Les bandes de 20 à 30 cm de largeur relient les têtes de tirants deux-à-deux, selon des horizontales, verticales et diagonales (figure 3). En traitement des contraintes, une nouvelle campagne de sciage par câble diamanté a été définie à l'aide du modèle numérique, avec pour objectifs :

- D'éviter la remise en compression de la partie supérieure de la structure (entamée depuis le milieu des années 2000, selon les résultats de l'auscultation) ;
- De réduire les contraintes de cisaillement parallèles aux appuis.

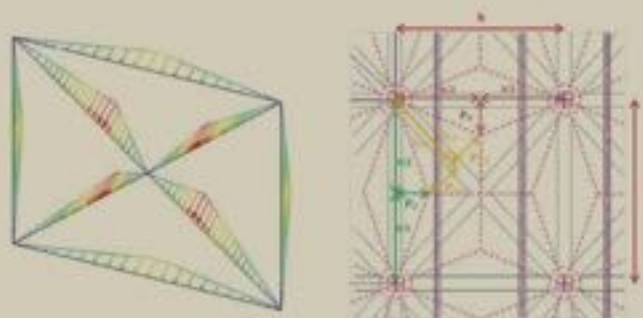
## ÉVOLUTION DE L'EFFORT SISMIQUE en fonction de l'altimétrie



7

© EDF

## PRINCIPE DE RÉPARTITION SURFACIQUE de l'effort de séisme



8

© BOUYGUES TPRF - VSL FRANCE

Sept des huit empreintes initiales ont ainsi été reprises au câble diamanté de 16 mm, en approfondissant deux d'entre elles jusqu'à une hauteur de 42 m, afin d'augmenter leur efficacité vis-à-vis de la réduction des contraintes le long du contact béton-rocher, portant ainsi la section totale découpée à environ 2 500 m<sup>2</sup> (figure 4).

La mise en place des tirants et du maillage carbone a demandé la dépose des 9 000 m<sup>2</sup> de la membrane d'étanchéité existante et la mise en place d'une membrane neuve équivalente après travaux (figure 5).

**6- Modélisation du maillage amont.**

**7- Évolution de l'effort sismique en fonction de l'altimétrie.**

**8- Principe de répartition surfacique de l'effort de séisme.**

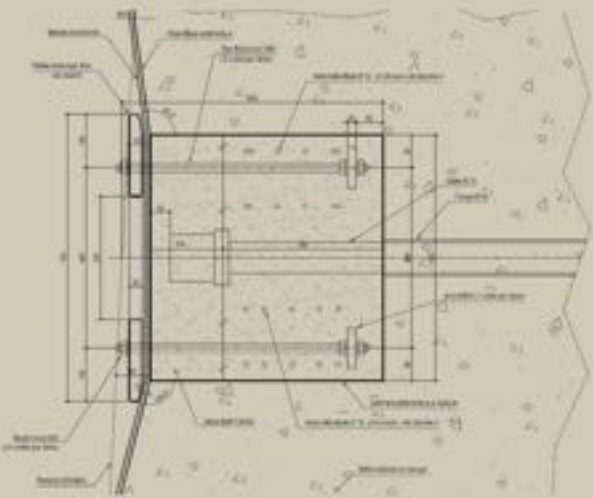
**9- Essai de chargement de bandes de carbone et de leurs ancrages pour confirmation des hypothèses de dimensionnement.**



9

© BOUYGUES TPRF - VSL FRANCE

## COUPE TRANSVERSALE d'une niche d'ancrage amont



10

## LES ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution des tirants et du maillage carbone, réalisées par Setec Tpi pour Bouygues Tprf/Vsl France, se sont déroulées sur une durée de 8 mois. Outre le caractère atypique du projet, la difficulté résidait dans l'optimisation globale du maillage et des tirants, nécessitant un traitement au cas par cas et une rationalisation des résultats pour les rendre exploitables sur chantier.

## DIMENSIONNEMENT DES BANDES DE CARBONE

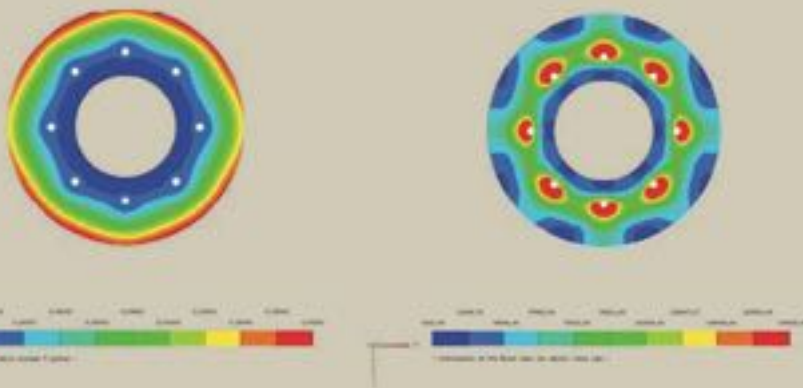
Le maillage amont est composé de 1382 bandes en fibres de carbone (procédé « MBRACE » 400 g/m<sup>2</sup>), de largeur 200 mm ou 300 mm, et dont le nombre de couches augmente avec l'intensité du chargement.

La maille des têtes des tirants, de dimensions moyennes  $h \times L = 4 \text{ m} \times 3,70 \text{ m}$  (figure 6), est en réalité de dimensions variables. De plus, le chargement des bandes change en fonction de leur altimétrie. Chacune des bandes, dont la longueur varie entre 1,50 m et 8,34 m, a ainsi été étudiée individuellement, afin d'optimiser son dimensionnement.

Les sollicitations à considérer sont l'effort de séisme et l'effort de gonflement. Ce dernier est lié au gonflement du béton du barrage sous l'effet de l'alcali-réaction et se traduit par une déformation longitudinale imposée de 50  $\mu\text{m}/\text{m}/\text{an}$ .

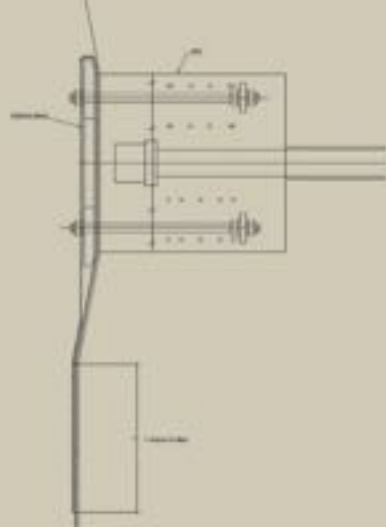
Pour l'effort de séisme, on se base sur une hypothèse d'étude pessimiste qui correspondrait à la force générée par un bloc de béton. ▷

## DIAGRAMME DE CONTRAINTE ET DE DÉPLACEMENT dans une plaque d'ancrage amont



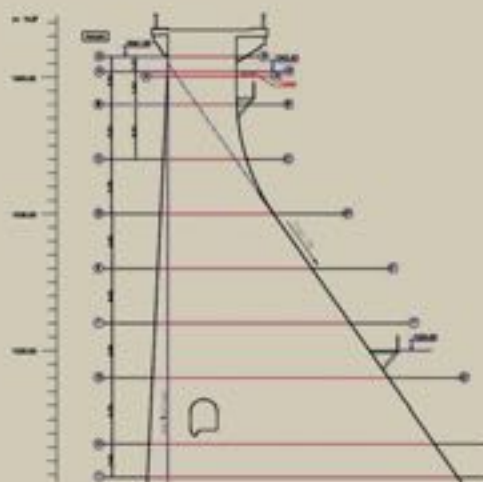
11

## COUPE TRANSVERSALE d'une niche d'ancrage amont située en rive du maillage



12

## COUPE TRANSVERSALE DU BARRAGE avec position des différents niveaux de tirants



13

10- Coupe transversale d'une niche d'ancrage amont.

11- Diagramme de contrainte et de déplacement dans une plaque d'ancrage amont.

12- Coupe transversale d'une niche d'ancrage amont située en rive du maillage.

13- Coupe transversale du barrage, avec position des différents niveaux de tirants.

10- Cross section of an upstream anchoring recess.

11- Diagram of stress and displacement in an upstream anchor plate.

12- Cross section of an upstream anchoring recess located on the edge of the meshing.

13- Cross section of the dam, with position of the various levels of tie rods.





14

© EDF

Il est proportionnel à l'épaisseur des blocs (e) qui diminue avec l'altimétrie (le barrage est plus épais en pied) et à l'accélération sismique, qui elle, en revanche, augmente avec l'altimétrie (facteur  $\gamma_s$ ) :  $F_{\text{séisme}} = e \cdot \rho \cdot a \cdot \gamma_s \text{ N/m}^2$  (figure 7).

La masse volumique des blocs ( $\rho$ ) est  $2\,350 \text{ kg/m}^3$  ; il s'agit d'un béton cyclopéen âgé de 80 ans environ et non armé.

Le barrage du Chambon est situé en zone de sismicité moyenne et l'accélération sismique du rocher est égale à :  $a = 1,76 \text{ m/s}^2$  soit 0,18 g.

La répartition de l'effort sismique surfacique entre les bandes diagonales, verticales et horizontales est effectuée conformément aux indications du CCTP : les zones entre les bandes sont décomposées en triangles, et le découpage géométrique suit les barycentres de ces triangles. Le chargement sur les bandes (figure 8) n'est donc pas uniforme mais triangulaire.

Les bandes n'ont aucune rigidité de flexion, et se déforment en chaînette

sous la poussée sismique d'un bloc de parement.

Aucune adhérence carbone/béton n'est prise en compte.

Chaque bande de tissu composite est étudiée individuellement et modélisée à l'aide du logiciel *Pythagore*® comme un élément de câble, discrétisé en 18 sous-éléments d'environ 20 cm de longueur.

En raison de son utilisation dans des conditions sortant du cadre de son Avis Technique, le procédé de renforcement a été qualifié par essais préalables : un prototype a ainsi été réalisé sur site, simulant l'expulsion d'un bloc de béton retenu par une bande de carbone entre 2 tirants lors d'un séisme (figure 9). La capacité des bandes lors du dimensionnement a alors été prise égale à 80% de l'effort à rupture mesuré, soit 93,6 kN pour une bande de largeur 200 mm et 140,4 kN pour une bande de largeur 300 mm.

L'étude est réalisée en « grand-déplacement » sous les effets cumulés du séisme et du gonflement du béton.

**14- Vue des grues et du portique de franchissement de la route lors du passage du tour de France le 18 juillet 2013.**

**15- Vue du parement aval.**

**16- Vue du parement amont et de la passerelle supportant les échafaudages.**

**14- View of cranes and road crossing portal structure passed through by the Tour de France on 18 July 2013.**

**15- View of downstream face.**

**16- View of upstream face and foot bridge supporting scaffolding.**

#### DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS D'ANCRAGE

Les 415 dispositifs de liaison des bandes de carbone aux têtes des tirants permettent de transmettre l'effort normal au plan du barrage, des bandes aux tirants. Ils sont mis en place dans des niches de diamètre 500 mm à 650 mm et de profondeur variant entre 500 mm et 1 300 mm, créées par carottage sur chaque parement du barrage. Chaque ancrage est constitué d'une plaque circulaire en acier inox de diamètre extérieur 700 mm et d'épaisseur 30 ou 35 mm, évidée en son centre, et comportant 8 percements de 22 à 42 mm de diamètre, pour disposer les 8 tiges d'ancrage filetées (diamètre variant de M20 à M39). Ces tiges filetées, en inox de classe 50, sont fixées à leur extrémité dans une cerce en acier galvanisé de diamètre extérieur variant de 540 à 620 mm, d'épaisseur 20 ou 30 mm, qui sera noyée dans le béton coulé en place dans les niches. Les bandes de carbone passent entre la platine et le parement béton (figure 10).



15

© BOUYGUES TPRF - VSL FRANCE



16

© PASCAL TOURNAIRE





17

© PASCAL TOURNAIRE

Un arrondi de rayon 125 mm est réalisé en bordure de la sous-face de la platine pour que les bandes ne soient pas poinçonnées lors de leur mise en charge. Les fibres de carbone sont déviées lors de leur pose de part et d'autre des tiges.

Les plaques circulaires en inox sont modélisées à l'aide du logiciel *Pythagore*® développé par Setec Tpi. Elles sont calculées en tenant compte du comportement non-linéaire de l'acier, avec une plastification au-delà de la limite élastique ( $f_y/gm_0 = 200/1,1 = 181,8$  Mpa), selon le critère de Von Mises (figure 11).

Le dimensionnement des dispositifs d'ancrage comprend également le calcul des tiges filetées, les vérifications de contraintes locales (poinçonnement, arrachement, compression dans les bielles de béton - BAP C40/50 -), la vérification de la cerce en acier galvanisé et le calcul des frettes hélicoïdales de diffusion de la précontrainte.

Les ancrages de rive, situés en périphérie du maillage, font l'objet d'une étude

**17- Vue du chantier en conditions hivernales, avec bâches et filets sur les échafaudages.**

**18- Panier matériel disposé sur une recette à l'arrière d'un poste de travail.**

**19- Benne à déchets entreposée sur des recettes matériel.**

**17- View of construction site in winter conditions, with tarpaulins and nets on scaffolding.**

**18- Material basket placed on a station at the rear of a work station.**

**19- Waste bin placed on equipment stations.**

particulière car ils doivent reprendre la composante tangentielle de l'effort amené par les bandes de rive qui s'arrêtent en se recouvrant sur elles-mêmes autour de la platine. L'effort tangent au plan du barrage est ainsi transmis au béton par cisaillement dans les tiges (figure 12).

#### DIMENSIONNEMENT DES TIRANTS

Les 415 tirants horizontaux sont composés de torons gainés graissés (de 1 à 9 T15 S), circulant dans une gaine en PEHD injectée au coulis de ciment et non solidaire du béton du barrage.

Leur longueur peut varier de 4,25 m à 24,05 m en fonction de leur position sur le barrage (figure 13).

L'effort de précontrainte est calculé au cas par cas, de manière à respecter les critères ci-après :

→ L'effort minimal de précontrainte dans le tirant doit rester supérieur à l'effort de séisme. Cette condition fixe la section minimale du tirant et

doit en particulier être vérifiée dans la situation la plus critique, 50 ans après mise en œuvre du renforcement, sans effet de gonflement du béton, alors que les tirants sont à 10°C de plus que le béton.

→ L'effort maximal dans le tirant doit rester inférieur au minimum de 80% de l'effort à rupture  $F_{pk}$ , et 90% de l'effort à la limite élastique  $F_{peg}$ . Cette condition fixe la tension initiale dans le tirant (c'est-à-dire la contrainte lors de la mise en tension au vérin) et doit en particulier être vérifiée dans la situation la plus critique, 20 ans après mise en œuvre du renforcement, avec effet de gonflement du béton, alors que les tirants sont à 10°C de moins que le béton. Les ancrages réglables permettent de détendre les tirants après 20 ans pour annuler la sur-tension amenée par le gonflement.

Afin de maintenir la tension de chaque tirant dans les limites recherchées à l'avenir, les têtes des tirants aval ont été conçues actives et réglables, permettant ainsi une remise en tension en cas de relaxation ou un détensionnement après gonflement du béton. Les têtes amont des tirants, passives, sont noyées dans le béton de remplissage des niches après mise en tension et injection à la cire des capots des ancrages.

#### L'EXÉCUTION DES TRAVAUX

La mise en œuvre des tirants et celle du maillage carbone ont été réalisées par les équipes Vsl France de Bouygues Tprf, également en charge de la mise en œuvre des moyens de manutention et d'accès aux parements (échafaudages).



18

© BOUYGUES TPRF



19

© BOUYGUES TPRF - VSL FRANCE

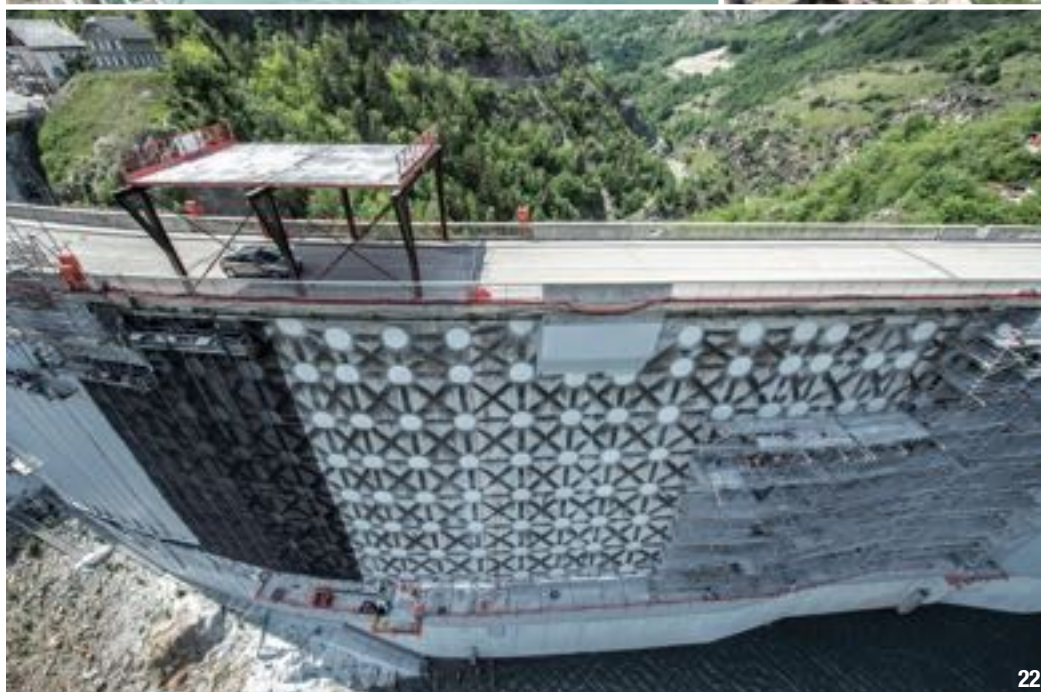




20



21



22

© PASCAL TOURNIÈRE

**20- Palonnier pour gaines PEHD et torons.**

**21- Palonnier déporté pour vérins.**

**22- Libération au fil de l'eau des files verticales des échafaudages.**

**20- Lifting beam for HDPE ducts and tendons.**

**21- Remote-mounted lifting beam for jacks.**

**22- Release of vertical rows of scaffolding as work progresses.**

## MOYENS DE MANUTENTION

Deux grues à tour MD345 ont été montées pour les besoins du chantier. De capacité 2,5 t en bout de flèche et de portée 75 m, elles ont ainsi couvert la totalité du site (longueur du couronnement : 294 m).

L'une a été installée sur une plateforme existante au pied amont de l'ancien évacuateur de crue. L'autre a été placée sur un plot de grue existant sur le parement aval du barrage, rehaussé et conforté par des ancrages passifs HA32 ou HA40.

Le montage et le démontage de la G2 ont été réalisés de nuit, avec interruption de la RD1091 (route Grenoble - Briançon empruntant le couronnement du barrage), de façon à minimiser l'impact du chantier sur cet axe.

En complément, un portique a été installé pour toute la durée du chan-

tier dans la zone de recouvrement des grues, afin de protéger les usagers de la route lors du transfert des charges d'un parement à l'autre (figure 14).

## MOYENS D'ACCÈS AUX DEUX PAREMENTS

Les accès aux postes de travail sur les 2 parements ont été réalisés par des échafaudages principalement fixes et, occasionnellement, mobiles (plus de 11 000 m<sup>2</sup> couverts et 8 km de planchers)

À l'aval (figure 15), les échafaudages reposent directement sur le barrage, profitant du fruit (70 à 75%) du parement.

À l'amont (figure 16), une plateforme supportant les échafaudages a été dimensionnée et mise en place, servant également de circulation d'une rive à l'autre du barrage.

Les échafaudages ont été dimensionnés en tenant compte des contraintes de réalisation des travaux, d'une part, et des contraintes météorologiques, d'autre part, (présence de bâches ou filets pare-neige pour permettre la poursuite des travaux en hiver) (figure 17). Ces paramètres ont ainsi défini la hauteur, la largeur et la capacité des planchers (classe 4).

En face de chaque poste de travail, des recettes ont été installées, permettant l'amenée et le repli de matériel à la grue, limitant ainsi les manutentions humaines, l'encombrement des planchers de travail et le temps d'utilisation des grues. Ces recettes ont notamment été utilisées pour disposer des paniers matériel (figure 18) et des bennes à déchets (gravats notamment) (figure 19), conçus spécialement pour le chantier.

## OUTILS SPÉCIFIQUES DÉVELOPPÉS POUR LE CHANTIER

Outre les outils décrits précédemment, les équipes Vsl France de Bouygues Tprf ont développé deux palonniers pour les besoins du chantier :

→ Le premier pour l'amenée des gaines PEHD et torons, mis à longueur au préalable au sol (jusqu'à 24 m pour les plus longs) (figure 20).

→ Le second pour la manutention des vérins de mise en tension des tirants (jusqu'à 300 kg pour les tirants à 9 torons) (figure 21). Ce dernier a par ailleurs été mis à disposition des équipes en charge du remplacement de la membrane d'étanchéité.

## ORGANISATION DES TRAVAUX

D'une manière générale, les travaux ont été organisés d'une rive à l'autre



© BOUYGUES TPFR - VSI FRANCE  
23

du barrage, et non de façon verticale, afin de libérer progressivement des zones verticales complètes et permettre ainsi la mise en place de la membrane d'étanchéité au fur et à mesure (figure 22).

La réalisation des tirants et du maillage amont comprend les tâches suivantes (figure 23) :

- Implantation des tirants par nacelle, avec affichage d'un repérage sur chaque tirant ;
- Mise en place des moyens d'accès ;
- Réalisation des carottages amont

**23- Les différentes phases de réalisation de travaux de précontrainte et carbone.**

**23- The various phases of prestressing and carbon work performance.**

aval (diamètre 75 mm à 150 mm, longueur 4 à 24 m, déviation autorisée 1%), et des niches sur les 2 parements ;

- Mise en place des gaines PEHD et des torons dans les carottages ;
- Ferrailage et bétonnage des niches ;
- Injection au coulis de ciment des gaines PEHD ;
- Mise en tension des tirants (après maturation du béton), dont 16% sont équipés de cellules de charge interrogeables à distance à tout moment par EDF ;

- Pesage des tirants après 4 semaines et injection à la cire des capots recouvrant les ancrages ;
- Bétonnage de seconde phase des niches amont, capotage des niches aval ;
- Mise en place des bandes de carbone et des ancrages du maillage amont au droit de chaque tirant ;
- Projection de mortier et installation d'un disque fin en PEHD sur les ancrages de façon à éviter le poinçonnement de la membrane d'étanchéité avec les tiges filetées des ancrages ;
- Repli des accès.

**BILAN DU CHANTIER**

À l'heure où ces lignes sont écrites, le chantier est entièrement replié. La mise en œuvre de moyens spécifiques adaptés au chantier, ainsi que la coordination entre les différents lots notamment, ont permis la livraison de l'ouvrage avec un mois d'avance sur le planning initial, tout en respectant les exigences de sécurité partagées entre le client et les intervenants. □

**PRINCIPALES QUANTITÉS**

- TIRANTS PRÉCONTRAINTS** : 415 unités, avec ancrages réglables à l'aval
- CAROTTAGES TRAVERSANTS ET NICHES** : 4,2 km de carottages amont aval et 830 niches représentant plus de 600 t de gravats
- CARBONE** : 6 km de maillage carbone développé sur le parement amont
- GRUES À TOUR** : 2 grues de portée 75 m et de capacité 2,5 t en bout de flèche
- ÉCHAFAUDAGES** : 11 000 m<sup>2</sup>, 8 km de plancher

**PRINCIPAUX INTERVENANTS**

- MAÎTRE D'OUVRAGE** : EDF Dpih - Unité de Production Alpes
- MAÎTRE D'ŒUVRE** : EDF Dpih - Centre d'Ingénierie Hydraulique
- ENTREPRISE TITULAIRE DU LOT 1** : Bouygues Travaux Publics Régions France - Vsl France
- ENTREPRISES INTERVENANT POUR LE LOT 1** : Arnholdt (échafaudages), Dsd Firoc (carottages), Setec Tpi (Bureau d'Études)

**ABSTRACT**

**CONSOLIDATION OF CHAMBON DAM**

O. CHULLIAT, EDF CIH - C. JANNIN, BOUYGUES TP - T. DE FOLLEVILLE, SETEC TPI

The Chambon dam is affected by an alkali-aggregate reaction phenomenon which is especially significant in the upper part of the structure. This phenomenon takes the form of swelling of the concrete, which causes tiny movements of the upper part of the dam. Another work campaign was carried out in 2013 and 2014 following on from the work performed in the 1990s:

- > Installation of 415 upstream-downstream horizontal prestressed tie rods, designed to adapt to future changes, supplemented by a carbon fibre net on the upstream face;
- > Execution of seven upstream-downstream vertical saw-cuts by a diamond wire of diameter 16 mm;
- > Replacement of the existing membrane barrier to allow execution of consolidation.

These works required the installation of handling and access facilities and specific tools for the construction site. □

**REFUERZO DE LA PRESA DE CHAMBON**

O. CHULLIAT, EDF CIH - C. JANNIN, BOUYGUES TP - T. DE FOLLEVILLE, SETEC TPI

La presa de Chambon está sometida a un fenómeno de reacción alcalina especialmente sensible en la parte superior de la estructura. Este fenómeno se traduce en un hinchamiento del hormigón que provoca desplazamientos ínfimos de la parte alta de la presa. En 2013 y 2014 se realizaron nuevas obras en la continuidad de las ejecutadas en los años 1990:

- > Implantación de 415 tirantes pretensados horizontales aguas arriba-aguas abajo, diseñados para adaptarse a las futuras evoluciones, completados con una red de fibras de carbono en el paramento aguas arriba,
- > Realización de 7 cortes de sierra verticales aguas arriba-aguas abajo con hilo diamantado de 16 mm de diámetro,
- > Sustitución de la membrana de estanqueidad existente para permitir la realización del refuerzo.

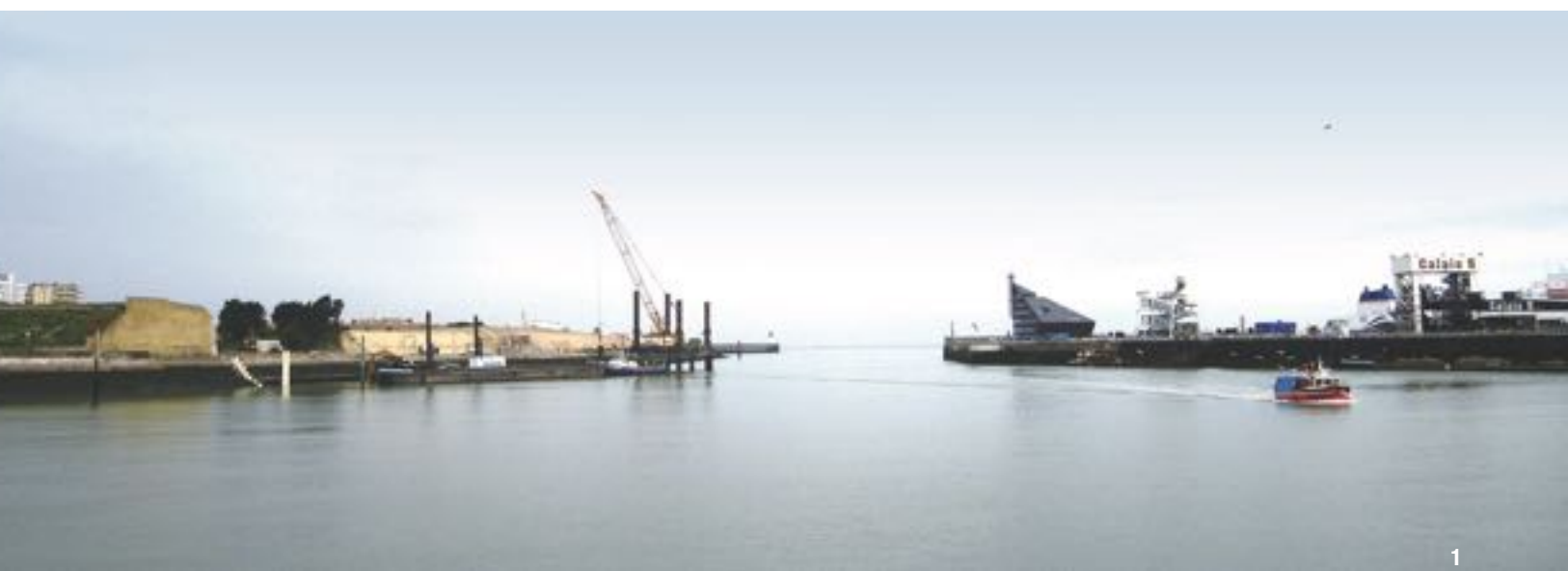
Estos trabajos requirieron la implantación de medios de manutención, de acceso y herramientas específicas para la obra. □



# LES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DU PERRÉ RISBAN À CALAIS

AUTEURS : GILLES DE MENOUE, INGÉNIEUR, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, DIRECTEUR TECHNIQUE, ARCADIS - FABIEN LEMAITRE, CHEF DU SERVICE ETUDES ET TRAVAUX PORTUAIRES DE LA RÉGION NORD-PAS-DE-CALAIS

LA RÉGION NORD-PAS-DE-CALAIS, PROPRIÉTAIRE DU PORT DE CALAIS, A FAIT RÉALISER DES DIAGNOSTICS SUR LES OUVRAGES ANCIENS AFIN D'ÉTABLIR UN PROGRAMME DE TRAVAUX DE RÉHABILITATION. LE PERRÉ RISBAN, OUVRAGE DE PROTECTION DU CHENAL D'ACCÈS AU PORT CONSTRUIT EN 1974, VIENT AINSI D'ÊTRE CONFORTÉ AVEC UN OBJECTIF DE TENUE À 50 ANS. L'IMPOSSIBILITÉ D'ACCÈS TERRESTRE A NÉCESSITÉ LE RECOURS À UN MATÉRIEL NAUTIQUE LOURD TOUT EN MAINTENANT LA NAVIGATION.



1

© ARCADIS

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le perré Risban est un ouvrage du port de Calais servant de soutènement le long du chenal d'accès aux arrière-ports (figure 1). Il assure une délimitation franche des espaces de navigation et de la passe d'entrée, en maintenant des conditions de navigation permettant le passage de différents types de navires.

Construit en 1974, il est constitué d'un rideau de palplanches surmonté de plaques en béton posées sur un remblai sableux et un lit de marnes.

L'ouvrage était depuis quelques années en très mauvais état : perforations et fortes corrosions des palplanches, plaques béton du talus fracturées, présence de nombreuses cavités, risque de rupture de tirants.

Ces désordres avaient un caractère évolutif et mettaient en péril la stabilité de l'ouvrage : il y avait un réel risque de ruine avec des conséquences sur les terrains en arrière et sur le chenal de navigation.

Outre sa fonction portuaire, cet ouvrage a été un lieu de promenade très fréquenté et apprécié par les touristes et les habitants de Calais. Toutefois, il a dû être fermé à la promenade depuis juin 2004, du fait des risques liés à l'instabilité de certaines plaques. À proximité de cet ouvrage, qui se situe dans un environnement urbain, on note également la présence du Fort Risban, classé monument historique.

La Région Nord-Pas-de-Calais, propriétaire des Ports de Calais et de Boulogne-sur-Mer depuis 2007, a décidé de procéder à une réhabilitation ou une

**1- Vue d'ensemble du chantier en cours.**

**1- General view of the project underway.**

reconstruction d'ensemble de l'ouvrage dans sa fonction portuaire, afin de le pérenniser pour une durée de 50 ans. L'aménagement final de la promenade en tête de l'ouvrage sera quant à lui réalisé par la Ville de Calais.

Suite à un premier diagnostic réalisé en 2010 par Arcadis, la Région Nord-Pas-de-Calais a confié à Arcadis une mission de maîtrise d'œuvre complète portant sur la réhabilitation du perré Risban (figure 2).

## PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MAINTENANCE D'OUVRAGES PORTUAIRES

Une partie importante du patrimoine des infrastructures portuaires est constituée d'ouvrages construits il y a longtemps et les gestionnaires d'infrastructures portuaires sont confrontés à un nombre important d'ouvrages présentant différents types de dégradations.

Les gestionnaires d'infrastructures portuaires doivent maintenir le niveau de service des ouvrages pour respecter les exigences de leurs utilisateurs. Ils sont donc amenés à définir, programmer et réaliser des interventions d'entretien, de réparation ou de confortement d'ouvrages qui peuvent parfois être lourdes et coûteuses, surtout en cas d'improvisation.



© RÉGION NORD PAS DE CALAIS



© ARCADIS

C'est dans ce cadre que le guide du CETMEF « Pathologies des ouvrages portuaires : méthodes d'investigation » propose un logigramme qui a été mis en œuvre et a débuté par un premier diagnostic en 2010 (figure 3).

### 1<sup>re</sup> PHASE : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS ENVISAGEABLES

L'ouvrage d'origine construit par phases entre le début du 19<sup>e</sup> siècle et 1975 se décompose en trois zones structurellement différentes (figure 4).

#### PARTIE SUD

D'une longueur de 240 m, elle est composée d'un parement maçonné surmonté d'un parapet en béton. Cette partie construite au 19<sup>e</sup> siècle a déjà fait l'objet d'un confortement par enrochements et injections en 1997.

#### PARTIE COURANTE

D'une longueur de 458 m, l'ouvrage est constitué par :

- Un rideau de palplanches LIVS ancré en tête par des tirants inclinés de type Ménard à plaque pivotante de 68 mm de diamètre, 15 m de long et espacés de +/- 4 m. Le rideau est couronné en tête par une poutre en béton armé ;
- Un perré constitué de dalles en béton armé d'une épaisseur de 40 cm posées initialement sur une couche de remblais marneux de 30 cm d'épaisseur, selon une pente 3H/2V. Sur les 95 derniers mètres en partant du nord, le perré est maçonné avec des réparations en béton ;
- Une voie de service permettant l'accès en cas de nécessité à la partie haute du perré. Celle-ci est en béton d'une largeur de l'ordre de 3,50 m avec une pente transversale de 5 % permettant l'évacuation de

2 & 3- Vue d'ensemble.  
4- Logigramme CETMEF.

2 & 3- General view.

4- CETMEF flow chart.

l'eau de pluie vers le chenal. Côté terre dans la zone du camping, la voie de service est bordée par un mur de soutènement située au pied d'un talus d'une hauteur de 6 à 7 m (mesurée à partir de la voie de service) et présentant une pente qui varie de 2H/1V à 3H/1V en haut duquel se trouvait un camping et où

il est envisagé par la Ville de Calais de construire dans un futur proche un palais des congrès.

Devant le rideau existant, le talus est réglé selon une pente théorique de 5H/1V jusqu'à atteindre le niveau de dragage du chenal donné à -7,75CM pour une cote de calcul de -8,25CM. Les fonds devant l'ouvrage sont envasés (au-dessus de la bathymétrie théorique). Cette partie a été construite en 1975.

#### PARTIE NORD

La partie nord est constituée d'un musoir de 20 m de long dont le pied est fondé sur des caissons havés. Cette partie construite au début du 20<sup>e</sup> siècle a fait l'objet en 2000 de travaux de rejointoiement et d'injections.

#### ÉTAT GÉNÉRAL ET CONSTATATIONS

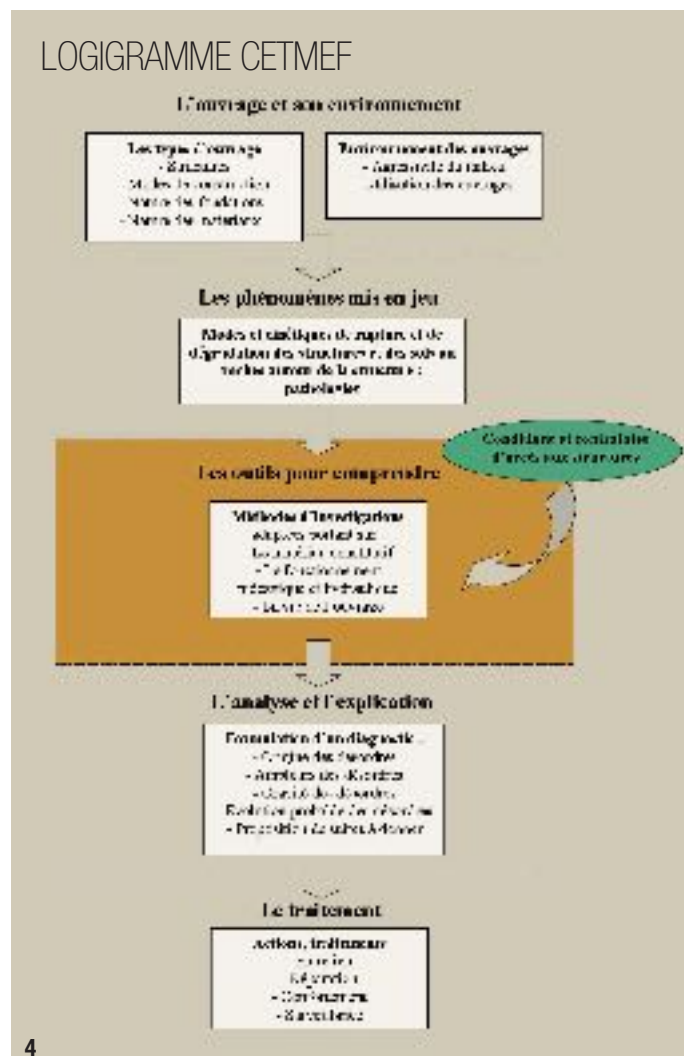
Le perré a subi d'importants désordres et particulièrement au droit de la partie courante où l'on observe une corrosion très importante du rideau de palplanches avec de nombreuses perforations visibles à marée basse.

Ces dégradations ont accéléré l'érosion du remblai à l'arrière des palplanches. De plus, l'absence de joints étanches entre les dalles du perré elles-mêmes et de la voie de service amplifie ce phénomène. Ces deux éléments sont à l'origine de l'affaissement des parements en béton et de leur fissuration. Depuis le diagnostic de 2010, il a été observé une dégradation continue et importante de l'ouvrage.

Sur la partie maçonnée au sud, on constate une déstabilisation du pied du perré sur 50 m environ provoquée par une érosion des joints entre blocs et parfois même un manque de blocs. Ces dommages ont comme conséquence de réduire la butée en pied du perré et donc sa stabilité et de favoriser le lessivage du remblai arrière en créant des cavités ou des zones décompactées. Sur l'extrémité nord du perré, il a été relevé d'importantes déformations au niveau du musoir qui peuvent indiquer la présence d'anciennes cavités (probablement injectées à la bentonite-ciment pendant les réparations effectuées en 2000).

2 types de solutions ont été préconisées, à ce stade et en attente d'investigations complémentaires à réaliser (topographie, géotechnique, mesure d'épaisseurs résiduelles) :

- Le rempliement par un rideau ;
- Le rempliement par un talus en enrochements.





## LE CHOIX DE LA RÉHABILITATION

Après réalisation des investigations complémentaires portant sur les mesures topographiques, une reconnaissance géotechnique (un sondage chaque 50 m) et des mesures complémentaires d'épaisseurs ainsi que des investigations subaquatiques, la solution de réhabilitation a été conçue de manière à permettre un entretien aisé du chenal de navigation.

Les sondages ont précisé la coupe de terrain suivante :

- Remblais de +8,50 CM à +4,50 CM.
- Sables flandriens de +4,50 CM à -17,50 CM.

→ Argile des Flandres sous -17,50 CM. et les paramètres géotechniques du tableau A.

La solution retenue consiste à battre un nouveau rideau mixte de palplanches et de profils en H autostables devant le rideau existant et à combler l'espace entre palplanches afin de créer un épaulement.

De la sorte, l'ancien rideau ne joue plus de rôle dans le soutènement de la digue.

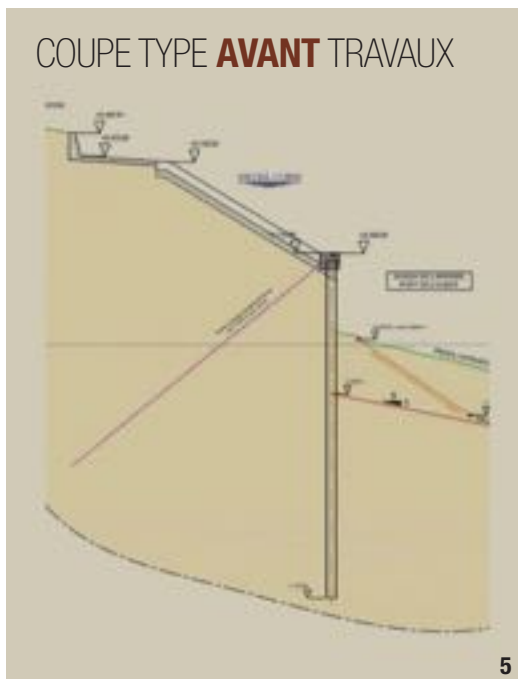
L'ensemble est protégé des effets de la houle par une carapace en enrochements 1/3 t posés sur une sous couche en 60/300 et un géotextile (figures 4, 5 et 6).

Le traitement de cette partie médiane est complété par des travaux de consolidation, essentiellement des remplissages de cavités, injections et reprises de maçonnerie sur les parties adjacentes.

Ont été inclus dans le cadre du marché de travaux qui a résulté de la consultation des entreprises :

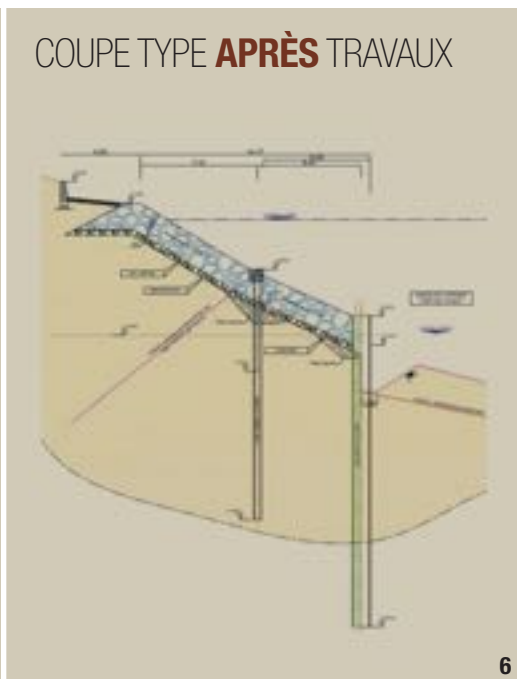
- Les investigations documentaires et les reconnaissances complémentaires que l'entrepreneur jugerait nécessaires à son information ainsi qu'à la bonne exécution des travaux ;
- Les études d'exécution de l'ensemble des ouvrages ;
- Les implantations et contrôles topographiques nécessaires à la bonne exécution des ouvrages ;
- Les installations générales de chantier, d'hygiène et de sécurité ;
- Les amenées et replis de matériels nécessaires à la réalisation des travaux ;
- Le démontage des perrés, éléments de fondations et équipements recouvrant l'actuelle berge (le démontage du rideau existant et des tirants ne font pas partie des prestations, ceux-ci étant conservés) ;

### COUPE TYPE AVANT TRAVAUX



5

### COUPE TYPE APRÈS TRAVAUX



6

- La fourniture et mise en place des palplanches, rideau mixte, et accessoires nécessaires à la construction du soutènement de la nouvelle berge et des ouvrages de raccordement ;
- La fourniture et la mise en place de protections de talus en enrochements ;
- La réalisation d'un dispositif pour l'amarrage d'un barrage POLMAR qu'il est prévu d'utiliser en cas de pollution en phase exploitation du site ;
- L'aménagement d'une voie de service en tête de perré ;
- La réalisation de deux rejets d'eaux pluviales en mer ;
- La fourniture et la mise en œuvre de tranchées et de fourreaux pour reconstituer éventuellement les réseaux impactés par les travaux ;
- Mur de soutènement du talus du camping ;
- La rénovation du perré existant

5- Coupe type avant travaux.

6- Coupe type après travaux.

5- Typical cross section before works.

6- Typical cross section after works.

au droit des raccordements nord et sud ;

- L'injection des éventuels vides sous les perrés conservés en maçonnerie ou en béton en partie nord et sud de l'ouvrage.

Après consultation des entreprises, le marché de réhabilitation du perré a été confié par la Région Nord-Pas-de-Calais au groupement d'entreprises Spie Batignolles Nord (mandataire) - Ghent Dredging.

## LES CONTRAINTES D'EXECUTION DES TRAVAUX

Les contraintes suivantes étaient imposées à l'entreprise :

- **Maintien de l'exploitation portuaire** :

l'organisation des travaux devait être faite pour permettre, sans aucune gêne, l'exploitation portuaire du port de Calais. En corollaire, les demandes d'occupation du domaine maritime étaient à planifier avec la capitainerie, avec obligation de délimitation des zones de travail devant le perré au moyen de balisages et d'une signalétique adaptée.

- **Zones mises à disposition** :

2 zones étaient mises à disposition dans le bassin à flot pour les chargements et déchargements d'engins nautiques (en corollaire du franchissement d'écluse pour rejoindre la zone du perré) et mises à disposition de 2 zones pour stockage et installation au nord du Fort Risban. Du fait de cette rupture

TABLEAU A : LES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES

Cote CM	Matériau	Poids volumique		Données pressiométriques		Paramètres de cisaillement		
		$\gamma_n$	$\gamma'$	$E_m$ (MPa)	$\alpha$	$C'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$C_u$ (kPa)
		kN/m <sup>3</sup>						
TN à terrassement	Remblais d'apport	20	11	3.3	1/3	0	30	-
+8.50 à +4.50	Remblais en place	17.8	11	3.3	1/3	0	30	-
+4.50 à -17.50	Sables Flandriens	18.4	11	8.7	1/3	0	34	-
-17.50 et en deçà	Argiles de Flandres	21	11	10.3	1/2	21	15	100



7 © SPIE BATIGNOLLES NORD



8 © ARCADIS

entre les 2 sites, un plan de communication a été demandé à l'entreprise avec établissement d'un plan de circulation (chantier en limite des zones balnéaires et touristiques).

→ **Restriction de chargement sur la voie de service existante :** bien que dimensionnée à l'origine pour une surcharge de 2 t/m<sup>2</sup>, l'état de la voie de service ne permettait pas de l'utiliser en phase travaux sauf à réaliser un confortement provisoire (ce qui n'a finalement pas été retenu).

→ **Recyclage des déchets de chantier :** il a été demandé à l'entrepreneur de prendre en compte une filière de recyclage pour les déblais et bétons avec en particulier la possibilité de concasser les bétons en vue d'une réutilisation future (ce qui a pu être fait pour la structure de fondation de la nouvelle voie de service).

→ **Coactivité avec les chantiers de la Ville de Calais (projet du palais des congrès et aménagement d'un parc urbain) :** cette contrainte a finalement, du fait du léger décalage dans le temps de ces projets, permis à l'entreprise au travers d'une AOT d'utiliser la zone en stockage tampon et zone de base vie en lieu et place de l'ancien camping municipal.

## LES TRAVAUX DE BATTAGE DU RIDEAU

L'histoire de Spie Batignolles au port de Calais a commencé après-guerre avec la reconstruction en 1950 de la jetée Ouest. Depuis plus de 60 ans, l'agence Nord participe à sa façon aux évolutions majeures des infrastructures des ports

**7- Vue générale du chantier de battage.**

**8- Atelier de battage.**

**9- Travaux entre ancien et nouveau rideau.**

**7- General view of pile driving worksite.**

**8- Pile driving equipment.**

**9- Works between old and new curtain.**

du littoral du Nord-Pas-de-Calais et de Calais en particulier.

Aussi lorsqu'à l'été 2013 le projet de reconstruction du perré Risban sort

des cartons, l'agence Travaux Maritimes et Fluviaux de Calais se lance dans l'aventure de cet ouvrage portuaire essentiel pour le maintien de la circulation maritime vers l'arrière-port et ses bassins à flot.

Le chantier est aussi emblématique car à son extrémité sud, le perré est pourvu d'une fortification dont l'origine remonte au début de l'occupation anglaise au XIV<sup>e</sup> siècle. Même si les traces visibles de l'architecture de l'époque ont disparu, les vestiges de style Vauban constituent un ouvrage remarquable entre la ville, le port et la plage.

Un chantier reste une aventure, surtout dans un port où l'activité des ferries règne en maître.

Le chantier de battage (figure 7), inaccessible depuis la terre ferme du fait du recul lié au perré à reconstruire, a nécessité la mobilisation au printemps 2014 du ponton auto-élevateur Opalis

et de son ponton de servitude motorisé pour assurer l'approvisionnement à pied d'œuvre de l'atelier de battage. L'ouvrage comprend un rideau de soutènement continu autostable avec une tête à la cote +1,20 m CM, en solution mixte de type HZM 1080A-12/AZ13 770 fiché à -18,90 m CM, d'une longueur d'environ 460 m.

Préalablement à sa mise en place, un dragage du pied de perré existant a été effectué par deeper dredge jusqu'à la cote -3,60 m CM (cote de calcul de l'ouvrage existant) sur la largeur de l'ouvrage de confortement, afin de retrouver le sable de fondation d'origine.

La mise en place des profilés a été ensuite réalisée à l'aide d'un vibreur à hautes fréquences de la gamme ICE 1412 (figure 8).

Le rideau de palplanches était guidé pendant les opérations de mise en fiche et de mise à la côte par un guide de battage spécialement conçu par l'équipe du chantier pour la mise en place de profilés HZm dans les conditions de marnage assez importantes (de l'ordre de 8 m) tout en assurant une parfaite sécurité d'accès aux équipes. Sur le linéaire de l'ouvrage, 4 profils HZ ont été laissés avec une tête à la cote +9,30 m CM et peinte en couleur blanche pour servir de repérage de l'alignement du pied de talus, vis-à-vis de la navigation.

En fin de chantier une protection cathodique des profilés métalliques a été mise en place par plongeurs. Ont été installées dans l'optique d'une durée de vie de 15 ans, 221 anodes 119H aluminium de 120 kg de masse nette chacune, soit une par creux de

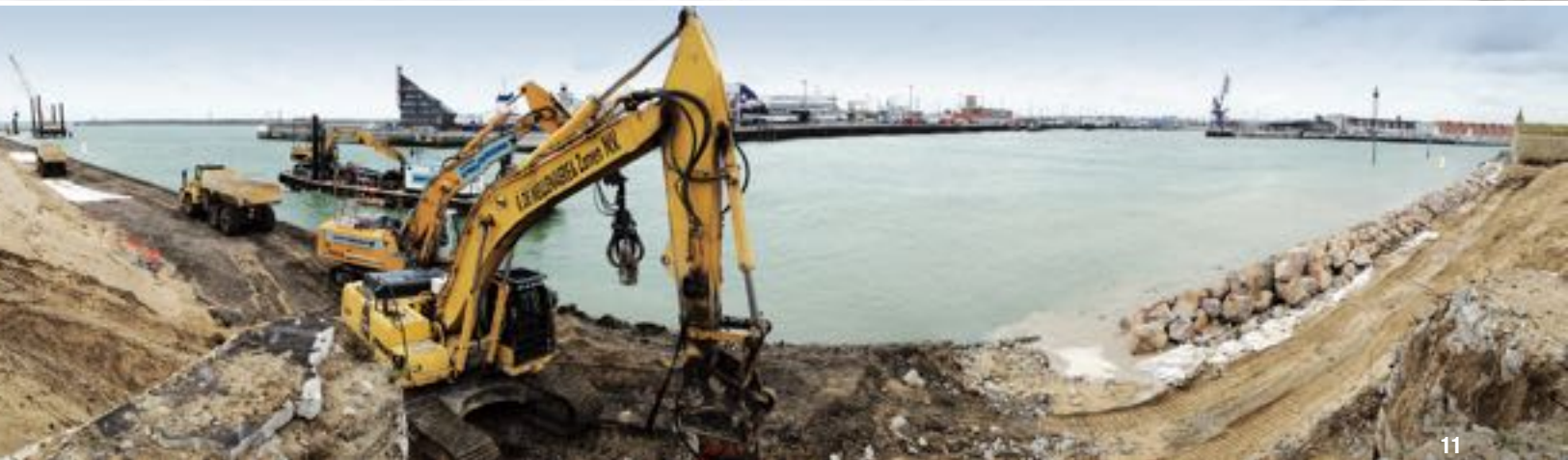


9 © ARCADIS





10



11

© GHENT DREDGING

## LES TRAVAUX D'ENROCHEMENTS ET DE DRAGAGE

Ces travaux (figure 9), réalisés par Ghent Dredging, ont consisté en :

- Le dragage d'une souille en pied de rideau existant en vue du battage du nouveau rideau mixte ;
- Le comblement entre rideaux d'un noyau sableux ;
- La démolition de l'ancienne dalle béton et le terrassement du remblai ;
- La pose sur perré et entre rideaux d'un géotextile associé à un filtre granulaire (figures 10, 11 et 12) ;
- La mise en place d'une sous-couche en enrochements 60/300 kg ;
- La pose d'enrochements 1/3 t en double couche (figure 14).

Pour ce faire, deux ateliers ont été déployés :

### Un atelier maritime

Composé d'une pelle de 85 t sur ponton et de deux barges avec pousseur.

### Un atelier terrestre

Composé de deux pelles de 45 t et de deux tracto-bennes évoluant en tête de talus (figure 11).

Au final, près de 16 000 m<sup>3</sup> d'enrochements ont été mis en œuvre, pour 8 000 m<sup>2</sup> de géotextile, et 10 000 m<sup>3</sup> de remblais.

## LES TRAVAUX DE RÉFECTATION ET CONSOLIDATION D'EXISTANT

Aux extrémités de la zone refaite, les structures en place conservées ont été consolidées selon l'ampleur de leurs vides sous-jacents, par remplissage

de béton ou par injection de coulis de bentonite-ciment (C/E = 0,8 ou 1), voire de coulis de ciment à C/E = 2. L'injection de près de 400 m<sup>3</sup> de matière ont été nécessaires.

La mise en œuvre s'est faite à la marée depuis des échafaudages installés pour la circonstance (figure 15).

## LES TRAVAUX DE SURFACE ET VOIRIE

Après le façonnage du nouveau perré en enrochements, l'opération s'est terminée par la réalisation d'un mur de confortement de pied de talus et de mur chasse-mer en béton armé qui borde la future voie de service (figure 16).

La couche de fondation de la voirie de service est réalisée par une couche de 40 cm de grave 0/60 provenant du concassage réalisé sur site des bétons précédemment démolis. L'obtention d'une plateforme PF2 n'a

**10- Vue panoramique de l'atelier de pose de géotextile.**

**11- Vue panoramique de l'atelier de pose des enrochements.**

**12- Pré-terrassement avant pose du géotextile.**

**13- Perré béton avant travaux.**

**10- Panoramic view of geotextile placing equipment.**

**11- Panoramic view of riprap placing equipment.**

**12- Preliminary earthworks before placing geotextile.**

**13- Concrete breast wall before works.**

pas posé de difficulté avec ces matériaux recyclés.

Cette fondation est surmontée d'une structure en grave 0/31,5 recevant une double émulsion gravillonnée. Dans le cadre des aménagements ultérieurs que réalisera la Ville de Calais, il sera réalisé en surépaisseur une promenade en dalle bétonnée.

## CONCLUSION

Après le diagnostic et les études, les travaux de réhabilitation du perré Risban ont été réalisés dans l'optique d'une durée de vie de 50 ans dans le cadre du développement permanent du Port de Calais et préalablement aux opérations qu'engagera la Ville de Calais sur un terrain mitoyen.

Les contraintes de réalisation de ce chantier ont nécessité le recours à des moyens nautiques lourds et des plans de préventions nautiques et terrestres spécifiques.



12

© GHENT DREDGING



13

© ARCADIS





**14- Rendu final du nouveau perré avec carapace en enrochements.**  
**15- Chantier d'injections au raccordement Sud.**  
**16- Mur de soutènement avant réalisation de la voie de service.**

**14- Final rendering of the new breast wall with riprap cover.**  
**15- Grouting site at South connection.**  
**16- Retaining wall before execution of the service road.**

La réalisation du chantier a été grandement facilitée par la mise à disposition par la Ville de Calais d'un vaste terre-plein à l'arrière du perré qui est en fait l'ancien camping municipal aujourd'hui désaffecté.

La plus grosse difficulté du chantier résidait dans sa forte exposition à la houle du large à l'extrémité nord de l'ouvrage. Les travaux de reconstruction ont donc été menés du sud vers le nord, si bien que les parties les plus exposées ont été réalisées entre l'été et l'automne 2014. Les travaux ont par ailleurs été facilités puisque l'automne 2014 s'est finalement révélé beaucoup plus clément que d'habitude.

Le chantier est aujourd'hui achevé, à la pleine et entière satisfaction de tous les intervenants. □



## CHIFFRES CLÉS

- LINÉAIRE DE PERRÉ RÉHABILITÉ : 460 m**
- DÉMOLITIONS D'OUVRAGES EN BÉTON : 4 300 m<sup>3</sup>**
- FOURNITURE ET MISE EN PLACE DE PALPLANCHES HZ ET AZ : 1 800 t**
- TERRASSEMENTS ET DRAGAGES : 20 000 m<sup>3</sup>**
- REMBLAIS : 10 300 m<sup>3</sup>**
- FOURNITURE D'ENROCHEMENTS : 16 300 t**
- GÉOTEXTILE : 10 000 m<sup>2</sup>**
- BÉTON ARMÉ : 400 m<sup>3</sup>**
- REMPLISSAGE DE CAVITÉS ET INJECTIONS : 400 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRISE D'OUVRAGE : Région Nord Pas de Calais**
- MAÎTRISE D'ŒUVRE : Arcadis**
- MARCHÉ DE TRAVAUX : Groupement Spie Batignolles Nord - Ghent Dredging**
- PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS DU GROUPEMENT : SARL Yves Lianne pour les terrassements terrestres, Freyssinet pour les injections de consolidation et Cts pour les protections cathodiques**

## ABSTRACT

### REHABILITATION WORK ON THE RISBAN BREAST WALL IN CALAIS

GILLES DE MENOÛ, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - FABIEN LEMAITRE

The Nord-Pas-de-Calais Region has been the owner of the ports of Calais and Boulogne-sur-Mer since 2007. It must maintain the service level of the structures to meet their users' requirements. In this context, after performing diagnosis of several old structures, it had to plan and execute rehabilitation works such as those recently completed on the Risban breast wall, the main structure protecting the access channel to the port of Calais between the West jetty and Fort Risban, a citadel dating from the Vauban era. The rehabilitation work was designed to extend the structure's lifetime by 50 years. Since overland access was impossible for powerful machinery, major nautical equipment had to be used in the channel, with the constraint of not disrupting navigation. □

### LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DEL ENCAchado DEL RISBAN EN CALAIS

GILLES DE MENOÛ, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - FABIEN LEMAITRE

La Región de Norte-Paso de Calais es propietaria de los puertos de Calais y Boulogne-sur-Mer desde 2007. Debe mantener el nivel de servicio de las estructuras para respetar las exigencias de sus usuarios. En este marco y, después de los diagnósticos de algunas estructuras antiguas, ha tenido que programar y realizar trabajos de rehabilitación como los que acaban de finalizar en el encachado del Risban, principal estructura de protección del canal de acceso al puerto de Calais entre el espigón Oeste y el fuerte Risban, una ciudadela de la época de Vauban. La rehabilitación ha sido diseñada para mantener la estructura durante 50 años. Debido a la imposibilidad del acceso por tierra de máquinas potentes hubo que recurrir a un importante material náutico en el canal, con la exigencia de no interrumpir la navegación. □





1

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

# PORT MILITAIRE DE BREST : TRAITEMENT DE L'ALÉA LIQUÉFACTION PAR COLONNES BALLASTÉES À L'ARRIÈRE D'UN MUR DE QUAI

AUTEURS : LAURENT SAUSSAC, INGÉNIEUR PRINCIPAL, GEOS INGENIEURS CONSEILS - ERWAN MOAL, INGÉNIEUR, GEOS INGENIEURS CONSEILS - ANNE GANDIHON, INGÉNIEUR TRAVAUX PRINCIPAL, KELLER

DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE RÉAMÉNAGEMENT DU QUAI D'ARMEMENT DROIT EST DE LA BASE NAVALE DE BREST SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE DE L'ÉTABLISSEMENT DU SERVICE D'INFRASTRUCTURE DE LA DÉFENSE (ESID), UN SECTEUR PRÉSENTANT UN RISQUE IMPORTANT DE LIQUÉFACTION DES SOLS SOUS SOLlicitATIONS SISMIQUES A ÉTÉ IDENTIFIÉ LORS DE LA CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE. LA SOLUTION CHOISIE A CONSISTÉ À RÉALISER EN ARRIÈRE DU QUAI DES COLONNES BALLASTÉES GARANTISSANT LA PÉRENNITÉ DU QUAI TOUT EN LIMITANT LES IMPACTS EN PHASE TRAVAUX SUR LES CONDITIONS D'EXPLOITATION IMPOSÉES PAR LE FONCTIONNEMENT DE LA BASE NAVALE.

## PRÉSENTATION DU PROBLÈME

Le site est caractérisé par de fortes épaisseurs (jusqu'à 20 m) de remblais hétérogènes mis en œuvre dans les années 1950 directement sur le subs-

stratum schisteux du Dévonien, souvent altéré sur une faible épaisseur en tête. Les reconnaissances géotechniques, qui comportaient des sondages pressiométriques et SPT (Standard Penetration Test), ont permis de mettre en

**1- Réalisation  
d'une colonne  
ballastée.**

**1- Exécution  
of a ballasted  
column.**

évidence plusieurs lentilles de sables lâches au sein des remblais, susceptibles de se liquéfier sous sollicitations sismiques.

Étant donné la nature stratégique du site, le Service d'Infrastructure de la

Défense a souhaité que les nouveaux aménagements du quai soient dimensionnés en tenant compte des nouvelles directives parasismiques relatives aux ouvrages sensibles.

Le phénomène de liquéfaction des sols peut se produire lorsque les ondes sismiques de cisaillement conduisent à une forte augmentation de la pression interstitielle « u » au sein d'un sol granulaire lâche saturé. Cette augmentation de pression interstitielle a pour effet de diminuer la contrainte intergranulaire effective  $\sigma'$  jusqu'à ce qu'elle s'annule : le sol alors se liquéfie.

Ce phénomène, qui conduit à une diminution de volume du squelette granulaire du fait des sollicitations cycliques, peut potentiellement générer d'énormes dégâts sur les structures associées au sol concerné, par une perte totale de capacité portante. Lors du séisme de Kobé (Japon) de 1995, d'importants dommages ont ainsi été causés aux structures portuaires suite à la liquéfaction des sols (figure 2).

## DIAGNOSTIC ET CARACTÉRISATION DE L'ALÉA LIQUÉFACTION SOUS SOLLICITATIONS SISMQUES

Selon le zonage sismique de la France en vigueur (décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010), la commune de Brest est classée en Zone de sismicité 2 (aléa faible). L'application des règles parasismiques est obligatoire et il y a lieu de se reporter à l'Eurocode 8 (Norme NF EN 1998 - Calcul des structures pour leur résistance au séisme). Le SMS (Séisme Maximum de Sécurité) du site de Brest est caractérisé par un séisme de magnitude  $M_{SMS} = 6,3$  prenant origine à 20 km du site. L'accélération maximale en surface qui en résulte est de  $a_{max} = 0,165$  g. Suite aux réévaluations « post Fukushima » concernant la méthode de prise en compte du Séisme Maximum de Sécurité valant référence dans le dimensionnement des ouvrages sensibles, l'analyse de l'aléa de liquéfaction a été menée par Geos Ingénieurs Conseils en considérant plusieurs niveaux de risque. Le Maître d'Ouvrage a finalement retenu la prise en compte du SMS du site de Brest avec une magnitude  $M_{SMS}$  majorée de 0,5, soit un séisme de magnitude 6,8 sur l'échelle ouverte de Richter dont l'épicentre serait situé à 20 km du site. Le potentiel de liquéfaction des remblais sous séisme a été évalué selon 3 méthodes différentes :

→ Les méthodes définies en 2001 par Youd et Idriss et en 2010 par Idriss et Boulanger, qui permettent d'estimer le potentiel de liquéfaction d'un sol à partir des résultats d'essais de type SPT ;

→ La méthode définie par Youd et Idriss qui permet d'estimer le poten-

tiel de liquéfaction d'un sol à partir des mesures géophysiques (vitesse des ondes de cisaillement Vs) ;

→ La méthode d'évaluation simplifiée définie à l'ancien règlement de construction parasismique PS92, qui permet d'évaluer le potentiel de liquéfaction d'un sol au moyen de ses caractéristiques granulométriques.

Ces trois méthodes ont permis de confirmer le risque.

Dans la méthode d'analyse de liquéfaction des sols de Youd et Idriss (2001), l'évaluation du niveau de risque est faite en prenant en compte comme donnée d'entrée le nombre de coups  $N_{SPT}$  auquel sont appliquées plusieurs corrections permettant de tenir compte de plusieurs variables, comme la longueur du train de tige, le calibrage de la chambre SPT, la teneur du sol en particules fines, la dissipation de l'énergie de frappe, etc. L'application de ces facteurs permet d'obtenir un paramètre noté  $N1_{(60)CS}$  nécessaire à l'évaluation de l'aléa.

En partant de la méthode développée par Youd et Idriss, Geos Ingénieurs

Conseils a ensuite défini un objectif de réduction du risque via une augmentation de la compacité des terrains et du paramètre  $N1_{(60)CS}$ , et donc du nombre de coups  $N_{SPT}$  à l'essai SPT.

La figure 3 montre les  $N1_{(60)CS}$  issus des essais réalisés avant traitement, avec en pointillés la valeur à atteindre pour écarter le risque de liquéfaction sous séisme.

## SOLUTIONS ENVISAGÉES

Plusieurs solutions de traitement ont été envisagées afin de réduire l'aléa de liquéfaction, tout en respectant les impératifs en termes de délais et de contraintes d'exploitation du quai. Les principales contraintes figurant au cahier des charges étaient de garantir l'efficacité du traitement anti-liquéfaction sous un séisme de niveau SMS + 0,5 tout en minimisant l'impact sur le fonctionnement de la Base Navale de Brest (préservation du mur de quai et de la voie de grue portuaire) et en limitant les incidences pour les aménagements futurs.

De nombreuses techniques de travaux existent pour réduire le risque de liquéfaction, leur faisabilité dépendant de la nature des sols et des conditions de mise en œuvre (figure 4).

Les solutions d'amélioration du sol « dans la masse » n'ont pas été retenues : la technique du compactage dynamique a été écartée en raison de l'épaisseur de l'horizon à traiter et des impacts qu'elle aurait pu avoir sur la structure du quai existant et sur la voie de grue portuaire. De plus, pour garantir une efficacité de ce type de traitement sur les sols en profondeur, l'énergie de compactage aurait dû être importante. La technique du vibrocompactage a été écartée en raison de la trop grande proportion de fines dans les terrains superficiels. Quant à la technique de compactage par injection solide, elle a été écartée en raison de son coût élevé et de l'impact potentiel qu'elle aurait pu avoir sur le mur de quai et la voie de grue.

Les solutions de traitement par mise en œuvre d'inclusions rigides ont également été écartées en raison de leur faible efficacité pour ce type de problématique, de leur coût élevé et des contraintes qu'elles pouvaient induire pour les aménagements futurs.

Seules les solutions de renforcement par inclusions souples sont donc apparues comme pertinentes. Elles ont un coût modéré et génèrent de faibles contraintes pour les aménagements futurs du quai.

**2- Sinistre consécutif à la liquéfaction des terrains dans le port de Kobe - séisme de Hyogoken-Nambu (Kobe, Japon), 1995.**

**2- Disaster following liquefaction of the ground in Kobe port - Hyogoken-Nambu earthquake (Kobe, Japan), 1995.**

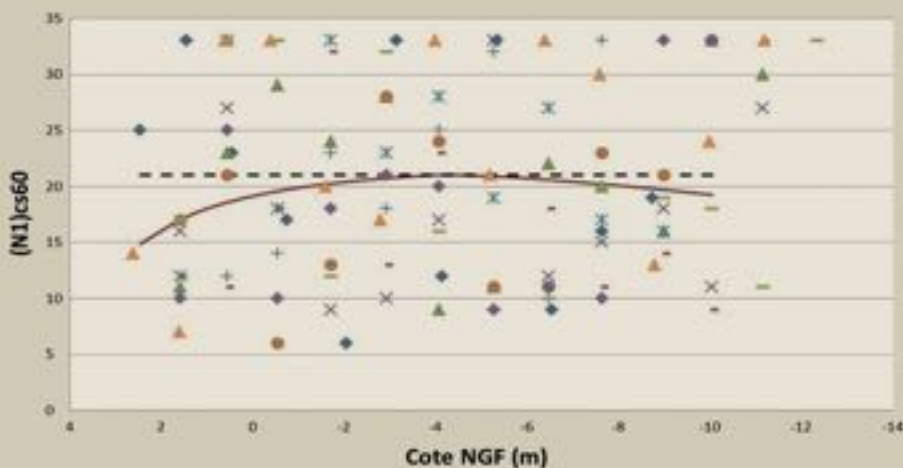
© KOBE GEOTECHNICAL COLLECTION, EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY



2



VALEURS  $N_{1(60)CS}$  MESURÉES ET OBJECTIF À ATTEINDRE AU NIVEAU SMS+0,5



3

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

3- Valeurs  $N_{1(60)CS}$  mesurées et objectif à atteindre au niveau SMS+0,5.

4- Procédés d'amélioration et de renforcement des sols.

3-  $N_{1(60)CS}$  values measured and objective to be achieved at level SMS+0.5.

4- Soil amendment and reinforcement processes.

Ces techniques sont également les plus efficaces pour traiter le risque de liquéfaction des sols : la réalisation de pieux de sable ou de colonnes ballastées permet d'une part de densifier les sols encaissants par incorporation de matériau, et d'autre part d'assurer la dissipation rapide des surpressions interstitielles générées par les ondes de cisaillement d'un séisme (effet drainant).

Finalement, la solution d'un traitement par colonnes ballastées a été retenue, car c'est une technique mieux maîtrisée en France que celle des picots de sables, pour des coûts et des résultats relativement comparables. Son efficacité est reconnue et elle permet, par son mode de mise en œuvre, de limiter l'impact du traitement sur les murs caissons du quai et sur la voie de grue.

**PRINCIPE DE LA SOLUTION RETENUE**

La technique des colonnes ballastées consiste à incorporer dans le terrain un matériau granulaire homogène et compacté de manière à créer dans le sol une inclusion souple, plus ou moins expansée en fonction de l'étreinte latérale des horizons traversés (figure 5). Pour atteindre le coefficient de sécurité recherché et donc l'objectif de

nombre de coups à l'essai SPT défini précédemment, une maille triangulaire de 2,2 m de côté a été définie dans l'étude de projet géotechnique G2-PRO réalisée par Geos Ingénieurs Conseils. Des colonnes ballastées, mises en œuvre selon cette maille jusqu'au substratum schisteux, permettent de traiter l'aléa de liquéfaction selon les critères fixés par le Maître d'Ouvrage.

PROCÉDÉS D'AMÉLIORATION ET DE RENFORCEMENT DES SOLS

Méthode	Types de sols					
	Matériaux évolués tourbe	Argiles très molles	Argiles et limons compressibles	Remblais fins	Sables graveles	Cailloux remblais à blocs
Amélioration de sol dans la masse	PRECHARGEMENT - DRAINAGE					
				VIBROCOMPACTAGE		
				COMPACTAGE DYNAMIQUE		
				INJECTION SOLIDE		
Renforcement des sols par inclusions souples		COLONNES BALASTÉES				
		PLOTS BALASTÉES PILONNÉS (épaisseur < 5 m)				
Renforcement des sols par inclusions et éléments rigides		DE TYPE PIEUX A REFOULEMENT / SANS REFOULEMENT ET JET GROUTING				
		DE TYPE COLONNES DEEP SOIL MIXING				

4

© FONDATIONS ET PROCÉDÉS D'AMÉLIORATION DES SOLS. GUIDE D'APPLICATION DE LEUROCODE 8. V. DAVIDOVICI ET S. LAMBERT. EYROLLES, 2013

## MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION D'UNE COLONNE BALLASTÉE

### 1 Préparation

La machine est mise en station au-dessus du point de fonçage, et stabilisée sur ses vérins. Un chargeur à godet assure l'approvisionnement en agrégats.



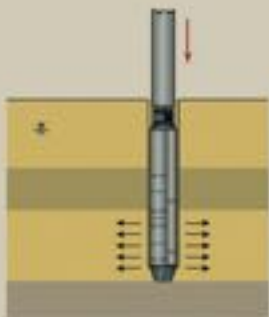
### 2 Remplissage

Le contenu de la benne est vidé dans le sas. Après sa fermeture, l'air comprimé permet de maintenir un flux continu de matériau jusqu'à l'orifice de sortie.



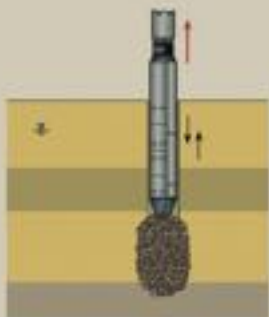
### 3 Fonçage

Le vibreur descend, en refoulant latéralement le sol, jusqu'à la profondeur prévue, grâce à l'insufflation d'air comprimé et à la poussée sur l'outil.



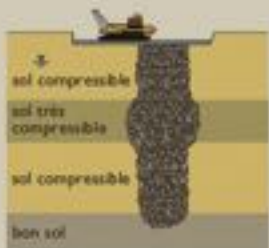
### 4 Compactage

Lorsque la profondeur finale est atteinte, le vibreur est légèrement remonté et le matériau d'apport se met en place dans l'espace ainsi formé. Puis le vibreur est redescendu pour élargir le matériau latéralement dans le sol et le compacter.



### 5 Finition

La colonne est exécutée ainsi, par passes successives, jusqu'au niveau prévu. Les semelles de fondations sont alors réalisées de manière traditionnelle.



### 5- Méthodologie de réalisation d'une colonne ballastée.

### 5- Methodology for execution of a ballasted column.

Ce traitement présente plusieurs avantages car il permet :

- De densifier considérablement les terrains par l'incorporation du ballast ;
- De dissiper rapidement les surpressions interstitielles générées par les ondes sismiques en agissant comme des drains ;
- D'augmenter la capacité portante du sol et donc de réduire le coût des fondations des aménagements futurs du quai ;
- La réalisation de terrassements éventuels pour les aménagements futurs du quai.

### PLANCHE D'ESSAI

Préalablement aux travaux de renforcement de sol, une planche d'essai a été exécutée.

Quatre sondages SPT ont été réalisés avant l'exécution des colonnes dans l'emprise de la planche d'essai. 27 colonnes ballastées ont ensuite été mises en œuvre jusqu'au substratum schisteux selon la maille prédéfinie. Après réalisation des colonnes, quatre sondages SPT et six CPT ont été réalisés au centre des mailles.

Les résultats des essais SPT ont atteint l'objectif du nombre de coups défini lors de la mission G2 PRO et ont donc permis de vérifier l'efficacité du traitement et de valider la maille retenue pour la réalisation des colonnes ballastées.

Des essais de dégarnissage de colonnes ont également eu lieu sur la planche d'essai. Une pelle mécanique a dégarni la tête de plusieurs colonnes à plusieurs profondeurs (1 m, 1,5 m et 2 m), afin de pouvoir en mesurer le diamètre effectif et ainsi vérifier que le diamètre défini au cahier des charges était bien obtenu.

L'entreprise Keller a proposé une variante portant sur les modalités de contrôle du traitement à l'avancement. Cette variante prévoyait de remplacer plusieurs sondages SPT par des CPT, dans un souci d'optimisation des coûts et surtout des délais. Le sondage de type CPT, par sa simplicité de mise

en œuvre et sa rapidité d'exécution, permet de multiplier les points de contrôle et ainsi d'obtenir une meilleure appréciation de l'efficacité du traitement sur l'ensemble de l'emprise du chantier. La réalisation de la planche d'essai a permis l'étalonnage et la validation de cette variante, et également la définition des objectifs de résistance de pointe  $q_c$  à atteindre au CPT comparativement à l'objectif  $N_{SPT}$ .

Lors de la réalisation de la planche d'essai, un effet inattendu du traitement a été constaté. En effet, lors du fonçage du vibreur pour la réalisation d'une colonne, les terrains superficiels granulaires les plus lâches ont eu tendance à tasser par réagencement des grains sous l'effet des vibrations et des cuvettes de tassements sont apparues au droit des colonnes (figure 6). Là où d'éventuels soulèvements de la plate-forme étaient attendus en raison de l'incorporation d'un volume important de matériaux (ballast), des problématiques de tassement des terrains sous l'effet du traitement ont finalement dû être prises en compte et il a fallu adapter la méthodologie de réalisation des colonnes.

L'adaptation du traitement a consisté à apporter des matériaux granulaires « propres » (sables déclassés) en surface, au fur et à mesure de la réalisation des colonnes. Cette modification avait un but double : garantir une étreinte latérale autour du vibreur (et donc la bonne exécution du forage) et permettre de compenser en temps réel les tassements générés par le réagencement des remblais granulaires par effet de vibrocompactage (figure 7).

### DÉROULEMENT DES TRAVAUX

La réalisation des travaux d'amélioration du sol a été confiée à l'entreprise Keller Fondations Spéciales. Le programme initial du chantier était donc de réaliser près de 1300 colonnes ballastées jusqu'aux schistes compacts, soit une hauteur moyenne estimée de 15 m.

Les colonnes ballastées ont été réalisées avec une foreuse Keller type 4 (figure 8).

### CONTRÔLE HEBDOMADAIRE DE LA PRODUCTION

Durant toute la durée du chantier, Geos Ingénieurs Conseils a réalisé un contrôle continu des quantités de matériau incorporées au terrain.

Chaque colonne a fait l'objet de deux fiches spécifiques.





6



7



8

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

La première détaille les paramètres de forage, à savoir la profondeur du vibreur, la force d'activation (poussée verticale), l'intensité électrique du vibreur et sa température, en fonction du temps. Une seconde fiche fait état du volume incorporé en fonction de la profondeur et du diamètre théorique de la colonne (figure 9). Ces fiches de production ont été transmises à une fréquence hebdomadaire à Geos Ingénieurs Conseils. Ce suivi régulier et précis du déroulement du chantier a permis d'une part une maîtrise des volumes de ballast incorporés (et donc des coûts), et d'autre part une bonne réactivité en cas d'évènement inattendu.

#### CONTRÔLE DU TRAITEMENT À L'AVANCEMENT

Des contrôles de l'efficacité du traitement ont été réalisés à l'avancement par sondages SPT et CPT.

10 essais SPT et 28 essais CPT ont été répartis sur l'ensemble de la zone d'implantation des colonnes ballastées (figure 10). Ils ont permis de vérifier l'atteinte des objectifs de compacité garantissant l'efficacité du traitement.

#### DES TASSEMENTS EXCESSIFS ET INCOMPATIBLES

Outre les contrôles de l'efficacité du traitement réalisés par plusieurs essais SPT et CPT durant la mise en œuvre des colonnes ballastées, un suivi continu des déplacements a été assuré sur 18 cibles placées sur les voies de grues, en bordure du quai.

Des tolérances de déplacement strictes avaient été fixées au cahier des charges afin d'éviter les soulèvements/tassements intempestifs. Elles devaient permettre de garantir le maintien de la voie de grue en fonctionnement dès la fin du traitement.

#### 6- Cuvettes de tassement durant l'exécution des colonnes de la planche d'essai.

#### 7- Apport de matériau granulaire en surface.

#### 8- Forage d'une colonne ballastée.

#### 6- Subsidence basins during execution of columns for the test section.

#### 7- Surface filling with granular material.

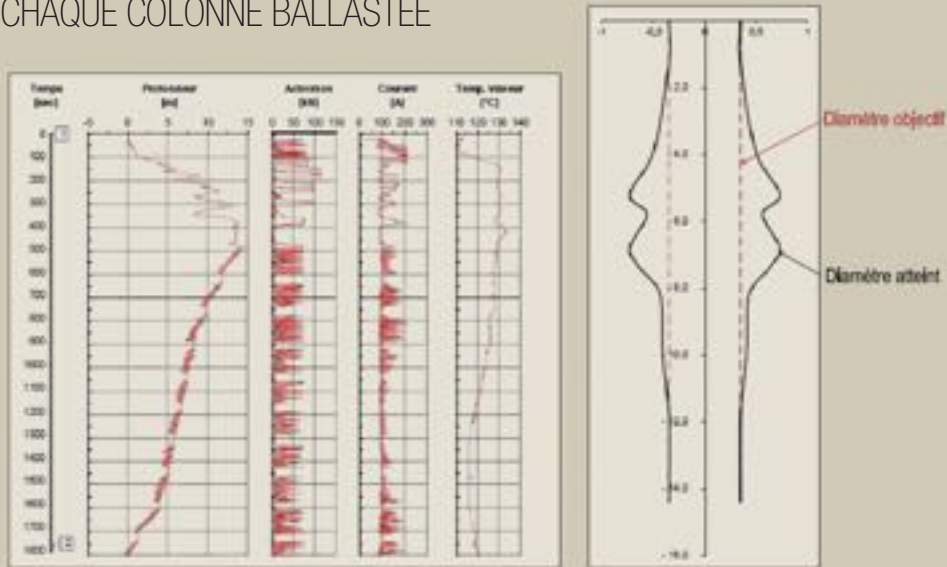
#### 8- Ballasted column drilling.

Une méthodologie spécifique avait été définie pour les colonnes implantées au plus près de la bordure du quai et des voies de grue. Des avant-trous étaient réalisés à la tarière jusqu'à 4 m de profondeur avant la descente du vibreur, puis le compactage était arrêté à 3 m de la plateforme, sous le niveau d'assise de la longrine de la voie de grue, ceci afin d'éviter des mouvements trop importants.

Cependant, les tassements des sols constatés sur la planche d'essai ont également été observés sur les premières zones traitées, avec des déplacements verticaux de plusieurs dizaines de centimètres. Deux facteurs ont été avancés pour expliquer ces tassements excessifs :

→ Les sols très hétérogènes comportaient des teneurs en fines très variables en fonction des horizons rencontrés. La présence de lentilles

## EXTRAITS DES FICHES DE PRODUCTION SPÉCIFIQUES À CHAQUE COLONNE BALLASTÉE



sableuses très lâches, comportant moins de 10% de fines et donc sensibles au vibrocompactage, a généré des affaissements importants de la plateforme sous l'effet du vibreur, par réagencement des grains et densification de ces horizons ;

→ Sous l'effet des variations du niveau piézométrique, corrélées aux marées, il a pu se produire un phénomène de reprise des migrations des particules fines contenues dans les sols vers les vides interstitiels des colonnes.

De nouvelles dispositions spécifiques ont donc dû être étudiées afin de garantir l'efficacité du traitement sur l'ensemble de la zone et de préserver le quai ainsi que la voie de grue portuaire. L'effet de vibrocompactage observé ayant généré des tassements de plusieurs dizaines de centimètres, la Maîtrise d'Œuvre a proposé au Maître d'Ouvrage plusieurs solutions confortatives :

→ Réaliser une reprise en sous-œuvre de la voie de grue par micropieux forés au travers de la longrine avant la reprise du traitement, avec comme difficulté principale le recalage nécessaire du rail de la voie ayant déjà tassé au-delà des seuils admissibles ;

→ Procéder à la dépose de la longrine et du rail arrière existants, puis à la reconstruction du linéaire impacté en fin de traitement, en fondant la nouvelle longrine sur pieux afin de garantir par la même occasion la stabilité sous séisme de la nouvelle voie de grue.

Le Maître d'Œuvre a opté pour la seconde solution, qui permettait de ne pas impacter les délais de réalisation des colonnes ballastées et de s'affranchir d'une reprise des déformations ayant déjà affecté la voie. ▶

**9- Extraits des fiches de production spécifiques à chaque colonne ballastée.**

**10- Ateliers de sondages de contrôle SPT (10b) et CPT (10a).**

**9- Excerpts from specific production sheets for each ballasted column.**

**10- SPT (10b) and CPT (10a) test boring equipment.**



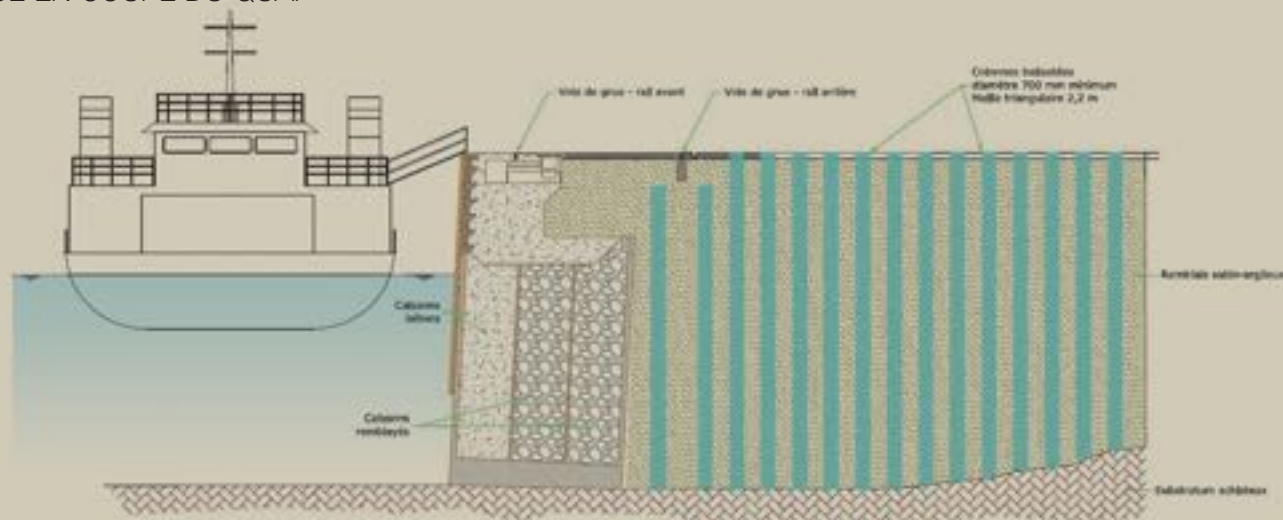
10a



10b



## VUE EN COUPE DU QUAI



11

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

### BILAN DES TRAVAUX

À l'issue du traitement de la plateforme, les contrôles SPT et CPT ont montré l'efficacité du traitement, avec plus de 90 % des valeurs permettant de vérifier un coefficient de sécurité supérieur à 1,25. Certains sondages de contrôle CPT n'ont d'ailleurs pu être menés

**11- Vue en coupe du quai.**

**11- Cross-section view of the dock.**

jusqu'au substratum schisteux tant la densification du terrain était importante entre les colonnes. Sur les 5 250 m<sup>2</sup> traité, un volume total de ballast de près de 8 500 m<sup>3</sup> a été incorporé, soit 1,60 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Les tassements observés sur la plateforme ont localement atteint une amplitude de 50 cm, pour

les zones où les terrains les plus lâches ont été rencontrés. Les opérations de contrôle ont montré que la technique des colonnes ballastées pour pallier le risque de liquéfaction s'est révélée très bien adaptée au contexte géologique et aux contraintes techniques imposées au cahier des charges (figure 11). □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**SURFACE DE QUAI TRAITÉE** : environ 25 m x 210 m soit 5 250 m<sup>2</sup>  
**COLONNES BALLASTÉES RÉALISÉES** : 1 231 unités d'une hauteur moyenne de 13,6 m, soit 16 680 m au total  
**QUANTITÉ TOTALE DE BALLAST INCORPORÉ** : 12 624 t soit 8 457 m<sup>3</sup>  
**VOLUME MOYEN / MIN / MAX PAR COLONNE** : 6,9 m<sup>3</sup> / 2 m<sup>3</sup> / 15 m<sup>3</sup>  
**TAUX D'INCORPORATION MOYEN** : 1,60 m<sup>3</sup> de ballast par m<sup>2</sup> de plateforme traitée  
**DURÉE DES TRAVAUX** : 20 semaines environ

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE** : ESID Brest - Service d'Infrastructure de la Défense  
**MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL** : Ingerop  
**MAÎTRE D'ŒUVRE GÉOTECHNIQUE** : Geos Ingénieurs Conseils  
**ENTREPRISE** : Keller Fondations Spéciales  
**CONTRÔLES SPT** : Ginger Ceptp  
**CONTRÔLES CPT** : Geosoltis

### ABSTRACT

#### **BREST MILITARY HARBOUR: TREATMENT OF LIQUEFACTION RISK BY BALLASTED COLUMNS BEHIND A DOCK WALL**

LAURENT SAUSSAC, GEOS - ERWAN MOAL, GEOS - ANNE GANDIHON, KELLER

**The Defence Infrastructure Department (ESID) wanted to renovate a dock in the Brest Naval Base.** A preliminary geotechnical reconnaissance campaign was carried out, involving pressure measurement tests and SPT boring. These investigations identified an area with a high risk of soil liquefaction under seismic loading. Geos Ingénieurs Conseils defined a ballasted-column anti-liquefaction treatment solution. The works were performed by contractor Keller Fondations Spéciales, with Geos Ingénieurs Conseils providing comprehensive project management services. The ballasted column technique proved very appropriate for the ground and was able to reduce the risk of soil liquefaction while meeting the requirements of the Brest Naval Base in terms of efficiency and constraints of dock operation during the work phase. □

#### **PUERTO MILITAR DE BREST: TRATAMIENTO DEL RIESGO DE LICUEFACCIÓN CON COLUMNAS BALASTADAS EN LA PARTE POSTERIOR DE UN MURO DE MUELLE**

LAURENT SAUSSAC, GEOS - ERWAN MOAL, GEOS - ANNE GANDIHON, KELLER

**Para realizar una rehabilitación del Quai d'Armement Droit Est de la Base naval de Brest** decidido por el Establecimiento del Servicio de Infraestructura de Defensa (ESID), se ha llevado a cabo una campaña preliminar de reconocimientos geotécnicos que incluía ensayos presiométricos y sondeos SPT. Estos estudios permitieron identificar una zona que presentaba un importante riesgo de licuefacción de los suelos sometidos a cargas sísmicas. Geos Ingénieurs Conseils determinó una solución de tratamiento antilicuefacción con columnas balastadas. La empresa Keller Fondations Spéciales se ha encargado de las obras y Geos Ingénieurs Conseils de toda la dirección de obra. La técnica de las columnas balastadas demostró estar bien adaptada a los terrenos y permitió reducir el riesgo de licuefacción de los suelos respetando las exigencias de la Base Naval de Brest en términos de eficacia y exigencias de explotación de los muelles durante las obras. □

# TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES BATARDEAUX DE L'USINE MARÉMOTRICE DE LA RANCE

G. MAUBOUSSIN, DIRECTEUR DE LA RÉGION MARÉMOTRICE - G. SOULIÉ, CHEF D'AMÉNAGEMENT DE LA RANCE  
TRAVAUX - AVRIL 1964

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTF



Les marées de la région de Saint-Malo sont parmi les plus fortes du monde.

L'usine marémotrice de la Rance, mise en service en 1966, avec une capacité de 240 MW, est restée la

plus grande centrale électrique de ce type au monde jusqu'en 2011, date à laquelle elle a été détrônée d'une courte tête par celle de Sihwa Lake en Corée du Sud, très légèrement plus puissante avec 254 MW.

Le barrage sert de pont routier entre Saint-Malo et Dinard.

Le système marémoteur trouve ses premières applications dès le XII<sup>e</sup> siècle dans les moulins à marée de Bretagne, particulièrement dans l'estuaire de la Rance. Ceux-ci utilisaient un bassin qui se remplissait à marée haute et qui se vidait à marée basse sur une roue actionnant un moulin à céréales. Ce fonctionnement dit « au vidage » est le plus simple qui se conçoive.

C'est l'architecte Gérard Boisnoer qui, en 1921, a l'idée de construire une usine marémotrice dans l'estuaire de la Rance. Les premières études

visant à la conception d'une telle usine marémotrice sur l'estuaire de la Rance remontent à 1943, par la Société d'étude pour l'utilisation des marées (SEUM).

Les premiers travaux commencent en 1961. Louis Arretche, architecte de la reconstruction de Saint-Malo, en est l'architecte-conseil.

Les deux premières années, les travaux visent à créer au moyen de deux batardeaux provisoires, dans l'estuaire soumis à des flux alternatifs violents, une zone sèche où l'usine pourra être construite. La construction de l'usine proprement dite débute le 20 juillet 1963, à l'abri de ces batardeaux.

Le fonctionnement de l'installation repose sur les « groupes bulbes » mis au point par les constructeurs dans les années 50, sous l'impulsion d'Électricité de France. Ce sont des unités

en forme de petit sous-marin contenant un alternateur, équipées d'une roue Kaplan à pales orientables. Ces groupes fonctionnent dans les deux sens du flux, à marée montante et à marée descendante. Ils fonctionnent également en pompe, permettant, aux heures creuses, un stockage d'énergie par remplissage de la retenue. Si le pompage est effectué, en jouant sur la hauteur de la marée, sous une hauteur manométrique inférieure à celle du turbinage qui suit, on obtient un rendement énergétique supérieur à 100%. Les travaux durent trois ans et s'achèvent en 1966. Charles de Gaulle, alors président de la République, inaugure l'usine le 26 novembre 1966. L'inauguration de la route franchissant l'usine a lieu le 1<sup>er</sup> juillet 1967 et le raccordement au réseau EDF le 4 décembre 1967.

## ABSTRACT

### TREASURES FROM OUR ARCHIVES: COFFERDAMS OF LA RANCE TIDAL POWER PLANT

TRAVAUX - AVRIL 1964

G. MAUBOUSSIN - G. SOULIÉ

**The tides in the region of Saint-Malo are among the strongest in the world.**

The La Rance tidal power plant, commissioned in 1966, with a capacity of 240 MW, remained the largest electric power station of this type in the world until 2011, when it was surpassed by a short head by the Sihwa Lake plant in South Korea, very slightly more powerful, at 254 MW. The dam serves as a road bridge between Saint-Malo and Dinard. The first tidal power system applications dated from the 12th century AD in tide mills in Brittany, especially in the Rance estuary. They used a reservoir which filled up at high tide and emptied at low tide onto a wheel actuating a cereal mill. This so-called "emptying" operation is the simplest imaginable. It was the architect Gérard Boisnoer who, in 1921, had the idea of building a tidal power plant in La Rance estuary. The initial design studies were performed in 1943, by Société d'étude pour l'utilisation des marées (SEUM) and work began in 1961. The architectural consultant was Louis Arretche, who supervised the reconstruction of Saint-Malo. The first two years, work was performed on two temporary cofferdams, to create a dry area where the plant could be built, in the estuary subjected to violent alternating flows. Construction of the plant properly speaking began on 20 July 1963, sheltered by these cofferdams. The system's operation is based on "bulb turbine generator units" developed by manufacturers in the 1950s at the instigation of Électricité de France. These are units shaped like a small submarine, containing a generator and equipped with an adjustable-blade Kaplan turbine. The units operate in both directions of flow, at rising tide and falling tide. They also operate as pumps, allowing energy storage in off-peak hours by filling the reservoir. If pumping is performed, exploiting the height of the tide, under a pressure head less than that of the following turbine operation, an energy efficiency of more than 100% is obtained. The works lasted three years and were completed in 1966. Charles de Gaulle, President of the French Republic at the time, inaugurated the plant on 26 November 1966. The road crossing over the plant was inaugurated on 1 July 1967 and the plant was connected to the EDF grid on 4 December 1967. □

### TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LAS ATAGUÍAS DE LA CENTRAL MAREMOTRIZ DEL RANCE

TRAVAUX - ABRIL DE 1964

G. MAUBOUSSIN - G. SOULIÉ

**Las mareas de la región de Saint-Malo se encuentran entre las más fuertes del mundo.** La central maremotriz del Rance, que entró en servicio en 1966 con una capacidad de 240 MW, fue la central de este tipo más importante del mundo hasta 2011, fecha en la que fue destronada por un estrecho margen por la de Sihwa Lake en Corea del Sur, ligeramente más potente, con 254 MW. La presa sirve de puente de carretera entre Saint-Malo y Dinard. El sistema maremotriz encuentra sus primeras aplicaciones en el siglo XII en los molinos de marea de Bretaña, especialmente en el estuario del Rance. Estos molinos utilizaban una cuenca de reserva que se llenaba con la marea alta y se vaciaba con la marea baja sobre una rueda que accionaba un molino de cereales. Este funcionamiento denominado "de vaciado" es el más sencillo que existe. Fue al arquitecto Gérard Boisnoer a quien, en 1921, se le ocurrió la idea de construir una central maremotriz en el estuario del Rance. En 1943, la Sociedad de estudio para la utilización de las mareas (SEUM) realizó los primeros estudios para el diseño de una central maremotriz de este tipo en el estuario del Rance. Los trabajos comenzaron en 1961. Luis Arretche, arquitecto de la reconstrucción de Saint-Malo, fue el arquitecto asesor. Los dos primeros años, las obras estaban destinadas a crear, por medio de dos ataguías provisionales, una zona seca donde pudiera construirse la central en un estuario sometido a violentos flujos alternativos. La construcción de la central propiamente dicha comenzó el 20 de julio de 1963, al amparo de estas ataguías. El funcionamiento de la instalación se basa en los "grupos bulbos" puestos a punto por los constructores en los años 50, bajo el impulso de EDF (Électricité de France). Son unidades con forma de pequeño submarino que contienen un alternador, equipadas con una rueda Kaplan con palas orientables. Estos grupos funcionaban en los dos sentidos del flujo, con marea ascendente y marea descendente. También funcionaban con bomba, permitiendo, en las horas valle, un almacenamiento de energía por llenado de la cuenca. Si se realizaba el bombeo, jugando con la altura de la marea, con una altura manométrica inferior a la del posterior turbinado, se obtenía un rendimiento energético superior al 100%. Las obras duraron tres años y terminaron en 1966. Charles de Gaulle, entonces Presidente de la República, inauguró la central el 26 de noviembre de 1966. La inauguración de la carretera que cruza la central tuvo lugar el 1 de julio de 1967 y la conexión a la red EDF el 4 de diciembre de 1967. □



# Les batardeaux de l'usine marémotrice de la Rance

par

G. MAUBOUSSIN

Directeur de la Région marémotrice.

et

G. SOUILLE

Chef d'Aménagement de la Rance.

## Préambule.

**B** IEN qu'ils ne soient que des ouvrages provisoires, les batardeaux de la Rance sont d'une importance telle qu'il a paru intéressant d'en donner une description détaillée. De plus, leur conception, leur mode de construction, les difficultés qu'il a fallu vaincre pour les réaliser justifient, semble-t-il, le présent article rédigé à l'occasion du Congrès des Grands Barrages.

La première partie de cet article traitera de l'usine marémotrice proprement dite; cela a paru, sinon indispensable, tout au moins très utile: en effet, les techniques utilisées pour la production d'énergie électrique sont très différentes des techniques classiques. Cette première partie donnera la description de l'usine, les caractéristiques de son équipement, le mode d'exploitation qui permettent les machines d'un type nouveau mis au point à l'occasion du projet de la première installation du monde qui utilisera l'énergie des marées.

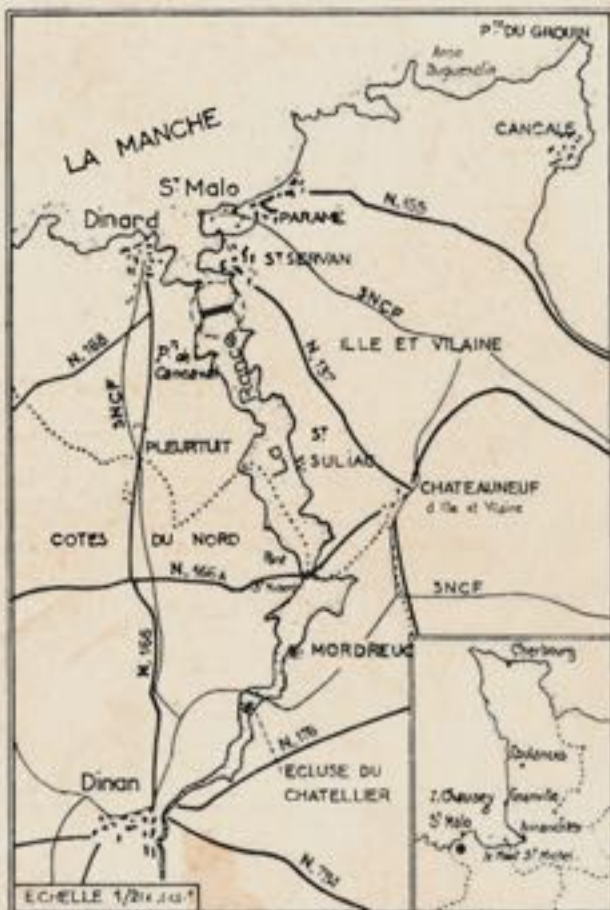
La seconde partie exposera les dispositions adoptées pour construire les ouvrages dans un estuaire où des débits considérables passent journellement, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; les diverses solutions envisagées seront passées en revue, ainsi que les essais sur modèle réduit qui ont permis d'étudier avec précision les conditions dans lesquelles se

trouvent les batardeaux au cours des divers stades de leur construction.

La troisième partie indiquera les règles admises pour la vérification de la stabilité des batardeaux.

La quatrième partie aura trait à l'exécution proprement dite des divers types de batardeaux réalisés.

Fig. 1. — Plan de situation.



## PREMIÈRE PARTIE

### L'usine-barrage de la Rance.

#### 1. Situation.

La Rance est un petit fleuve breton d'environ 100 km de longueur qui — quelques kilomètres après son passage au pied des remparts de la pittoresque ville féodale de Dinan — s'épanouit dans une large vallée et débouche dans la mer entre Saint-Malo et Dinard.

La surface inondée par la mer est importante: 22 km<sup>2</sup> au plein des grandes marées d'équinoxe qui amènent, toutes les douze heures, un volume d'eau de 180 millions de m<sup>3</sup>; elle constitue un plan d'eau magnifique, dont les mérites touristiques étaient déjà vantés, en 1821, par Chateaubriand dans les « Mémoires d'outre-tombe ». Tantôt ce sont d'étroits goulets comme celui de Cancaval, ou celui de Saint-Hubert; tantôt ce sont de larges épa-



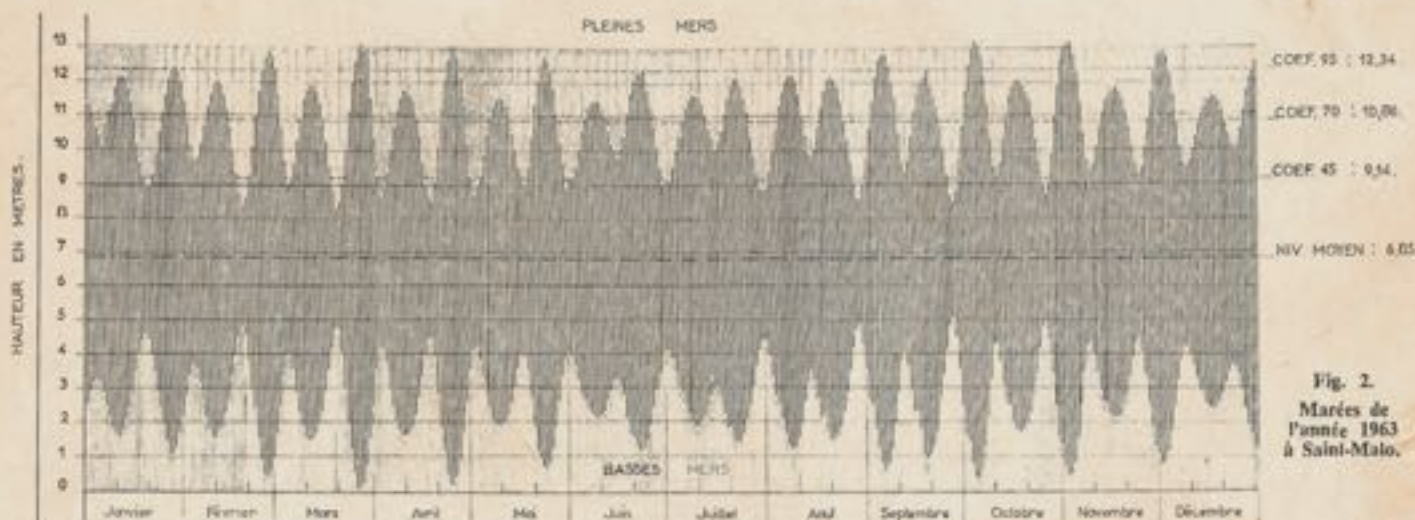


Fig. 2.  
Marées de l'année 1963 à Saint-Malo.

nouissements de la vallée atteignant jusqu'à 2 km, comme celui appelé lac de Mordreuc, ou celui appelé lac de Saint-Suliac.

L'usine de la Rance est située à 4 km de l'embouchure, entre les pointes de la Brebis et de la Briantais, distantes de 750 m.

En cet endroit, les fonds les plus profonds sont à la cote (—13,00) (C. M.) (1), ils sont donc recouverts de 26,5 m d'eau en grande marée. Quelques mètres d'alluvions, sable et galets, recouvrent le rocher, un granit assez hétérogène, mais néanmoins de qualité largement suffisante pour y asseoir un ouvrage ayant un grand empattement.

### 2. Les marées.

Les marées, dans la région de Saint-Malo et du Mont-Saint-Michel, sont parmi les plus fortes du globe ; cela est dû à la réflexion sur la presqu'île du Cotentin de l'onde de marée provenant de l'Atlantique et remontant la Manche.

L'amplitude — c'est-à-dire la différence de niveau entre la pleine et la basse mer — est, comme on le sait, variable d'un jour à l'autre suivant les positions relatives de la Terre, la Lune et le Soleil.

Au voisinage de la nouvelle et de la pleine Lune, ont lieu les marées les plus fortes, dites : marée de vive-eau, dont l'amplitude — (10,90) en moyenne — peut atteindre (13,50) lors des équinoxes de printemps et d'automne, quand la Terre et son satellite sont le plus près du Soleil.

Lors du premier et du dernier quartier de la Lune, ont lieu les marées les plus faibles, dites : marées de morte-eau, dont l'amplitude ne descend qu'exceptionnellement au-dessous de 4 m.

L'amplitude moyenne des marées, au cours d'une année, est de 8,50 m.

Pour être complet, il faut encore rappeler que la durée d'une marée est de 12 h 25 mn, soit la moitié du temps que met la Lune pour repasser au méridien d'un même lieu.

### 3. Moulins à marée.

La façon la plus élémentaire d'utiliser l'énergie des marées est celle des anciens moulins de la côte bretonne. Comment

(1) C. M. = *Cartes Marines*, dont le zéro est le niveau des plus basses mers. A Saint-Malo, le zéro (C. M.) est à (6,60) au-dessous du zéro (N. G. F.) (Nivellement Général de la France).

faisaient nos lointains ancêtres ? Une anse, une petite crique, était fermée par des digues de faible hauteur, créant ainsi un réservoir qui se remplissait à marée montante — grâce à des vannes largement ouvertes. Les vannes étaient refermées au moment de l'étalement de haute mer, et le réservoir était



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 3. — Moulin à marée de La Richardais.

maintenu plein jusqu'à ce que — par suite du reflux — une différence suffisante se soit produite entre le niveau du réservoir et celui de la mer : on vidait alors toute l'eau accumulée à travers une roue ou une petite turbine ; ainsi, pendant quelques heures, et sous une hauteur de chute, d'ailleurs variable, les meuniers d'autrefois pouvaient moulinier quelques sacs de grains. On a dénombré 14 moulins de ce type installés dans des criques de la Rance ; la plupart ne sont plus, aujourd'hui, que des ruines.

### 4. Usine marémotrice moderne.

L'usine marémotrice la plus simple est celle qui utiliserait l'énergie de la mer comme le faisaient les anciens moulins. Son fonctionnement est appelé « simple effet au vidage » ; « simple » parce qu'on ne produit de l'énergie qu'une seule fois au cours d'une marée ; « au vidage » parce que c'est en vidant le réservoir que l'énergie est fabriquée. Les premiers projets, dont le plus ancien remonte, pensons-nous, à 1906, étaient conçus pour fonctionner de cette manière.

Il est venu à l'idée que les conditions d'exploitation d'une usine marémotrice pourraient être sérieusement améliorées si l'on pouvait produire également de l'énergie au flot, c'est-à-



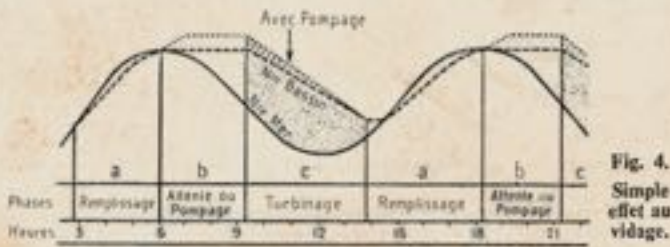


Fig. 4.  
Simple  
effet au  
vidage.

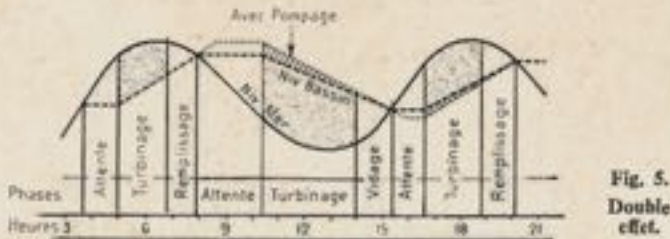


Fig. 5.  
Double  
effet.

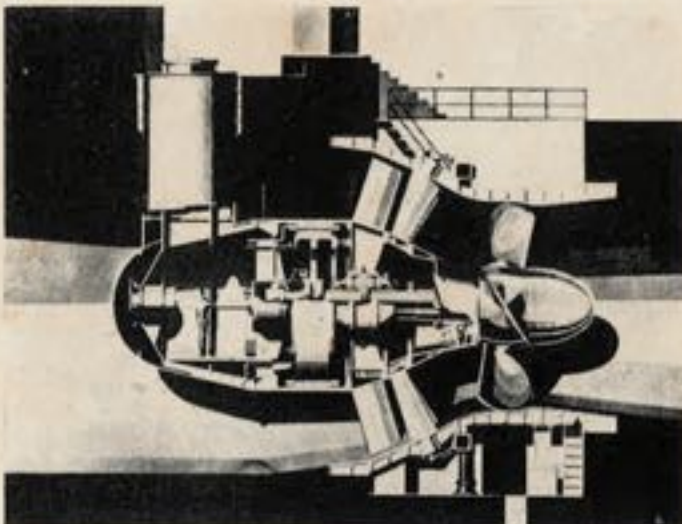
dire à marée montante. Ne pourrait-on trouver un type de machine qui aurait des rendements acceptables quel que soit le sens de l'écoulement de l'eau ? Si la chose était possible, on remplirait le réservoir, d'abord par les groupes, dès que la mer serait assez haute pour qu'il y ait une chute suffisante entre elle et le réservoir maintenu au niveau le plus bas ; on produirait ainsi de l'énergie pendant quelques temps ; on compléterait, bien entendu, le remplissage en ouvrant toutes les vannes, dès que la chute serait devenue trop faible. Puis on produirait à nouveau de l'énergie lors du vidage du réservoir. On réaliserait ainsi des cycles de production dits « à double effet ». Il en résulterait une augmentation de la production totale d'énergie : 10 à 15 p. 100, et, surtout, cela aurait l'avantage de fabriquer plus fréquemment des kilowattheures aux heures de forte consommation.

Les machines classiques : groupes « Kaplan », à axe vertical, ne semblaient pas pouvoir répondre correctement aux conditions posées : il fallait trouver autre chose.

### 5. Le groupe bulbe.

En 1952, ELECTRICITÉ DE FRANCE posait le problème à un certain nombre de constructeurs français et étrangers. C'est à cette époque que fut mis au point le « groupe bulbe », groupe à axe horizontal, placé dans un conduit hydraulique rectiligne. ELECTRICITÉ DE FRANCE avait demandé également que

Fig. 6. — Groupe bulbe Rance.



le groupe proposé pût fonctionner en pompe — et cela aussi bien dans un sens que dans l'autre — avec des rendements acceptables. On devine tout de suite l'intérêt du pompage : si l'on dispose d'énergie sur le réseau général français au moment où le réservoir est plein, ou presque plein, on peut faire du surremplissage, et cela sans grande dépense, car la hauteur de refoulement est faible ; quelques heures plus tard, quand la mer a baissé, le volume d'eau supplémentaire ainsi stocké par pompage peut être turbiné sous une hauteur de chute beaucoup plus importante. Ainsi, par exemple, avec les caractéristiques des groupes de la Rance, si l'on pompe sur 1 m de refoulement, et que l'on turbine ensuite sous 7 m de chute, le rendement énergétique est de 126 p. 100. Si cette eau n'est turbinée que sous 5 m de chute, le bilan énergétique n'est que de 70 p. 100, mais le bilan économique peut être supérieur à 100 p. 100 si le prix du courant produit est supérieur de 50 p. 100 au prix du courant consommé pour le pompage.

Autre intérêt du groupe bulbe : il peut encore fonctionner en orifice, ce qui signifie qu'il peut, lorsque la chute est devenue trop faible pour être génératrice d'énergie électrique, concourir avec les vannes au remplissage du réservoir.

Le groupe bulbe se présente comme un petit sous-marin muni d'une roue « Kaplan », à pales mobiles. Dans la coque du sous-marin, un alternateur classique. Le groupe est placé dans un conduit à axe horizontal, auquel il est fixé par les avant-directrices. Un tube vertical, convenablement profilé, permet d'accéder dans le bulbe ; c'est par ce puits que passent les canalisations électriques ainsi que les canalisations d'huile sous pression des servo-moteurs qui commandent les pales.

Avant la Rance, un certain nombre de groupes bulbes furent installés dans des usines de rivière :

- deux groupes, de conception un peu différente, à Cambeyrac, sur la Truyère (5 millions de W sous 10 m de chute) ;
- un groupe à Argentat, sur la Dordogne (14 millions de W sous 16 m de chute) ;
- un groupe à Beaumont-Monteux, sur l'Isère (8,5 millions de W sous 11 m de chute).

Enfin, dernière expérience avant le démarrage de l'usine marémotrice, un groupe de 9 millions de W fut mis en place dans une écluse désaffectée de Saint-Malo ; il fonctionne, depuis novembre 1959, entre les bassins à flot du port et la mer, soit en turbine, en vidant une tranche maximale de 2 m des bassins, soit en pompe, en refoulant de l'eau de la mer dans les bassins.

Lors de certaines grandes marées, lorsque la mer atteint un niveau supérieur à celui des bassins, on a pu remplir ceux-ci en fonctionnant en turbine dans le sens mer-bassin. Il a été possible encore, grâce à une vanne réglable, de vider le bassin dans la mer en faisant non pas du turbinage, mais du pompage en rejetant l'eau par-dessus la vanne. Bref, avec la machine de la station expérimentale de Saint-Malo, tous les modes de fonctionnement ont été essayés : les rendements que l'on a mesurés ont été légèrement supérieurs à ceux qui avaient été prévus.

La station expérimentale de Saint-Malo a permis également d'étudier le comportement à l'eau de mer des matériaux : aciers inoxydables de diverses compositions et bronzes, ainsi que la tenue des revêtements et peintures.

Les groupes bulbes de la Rance ont les caractéristiques suivantes :

- puissance, 10 millions de W ;
- roue à 4 pales, diamètre 5,35 m ;
- vitesse, 94 tr/mn.

### 6. Le barrage-usine de la Rance.

Le barrage-usine est construit à environ 4 km de l'embouchure de la Rance.





(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 7. — Vue aérienne de la Rance, Au 1<sup>er</sup> plan, Saint-Malo.

Entre la pointe de la Brebis, sur la rive gauche, et la pointe de la Briantais, sur la rive droite, existe un flot appelé Chalibert, à environ 150 m de la rive droite.

Une fois achevé, le barrage de la Rance se présentera comme étant constitué de deux ouvrages bien distincts :

- entre la rive droite et Chalibert, les pertuis de vannage destinés au remplissage ou au vidage du réservoir. Ils sont au nombre de six et sont fermés par des vannes-wagons de 15 m de longueur et de 10 m de hauteur entre les cotes (C.M.) (-4,00) et (+6,00) ;

- en partant de la rive gauche, l'usine marémotrice proprement dite, comprenant 24 groupes de 10 millions de W, débitant sur 3 transformateurs 225 kV et capables de produire, chaque année, 544 milliards de Wh.

L'usine se présente comme un long tunnel de 330 m de longueur, de 20 m de largeur, de 15 m de hauteur. Cette construction est comme posée sur un socle en béton de 10 m de hauteur et de 50 m de largeur dans lequel sont découpés, tous les 13,30 m, les conduits hydrauliques des groupes. Les parois, côté mer et côté estuaire, sont constituées par des

voiles épais en béton armé s'appuyant sur des contreforts espacés de 13,30 m bien encastrés dans les parties pleines du socle.

Le toit de l'usine est conçu sous la forme d'une voûte continue, calculée pour porter une route nationale à double voie. L'effet de cette voûte est particulièrement bénéfique, car les poussées auxquelles elle donne naissance sont précisément en sens inverse de la poussée de l'eau et, de ce fait, réduisent notablement les efforts de traction, donc les risques de fissures, à la liaison des contreforts avec le socle.

L'altitude de la route passant sur le barrage-usine est à la cote (+15,00), soit 1,50 m au-dessus des plus hautes mers. A marée haute, l'usine se présentera comme un ouvrage très bas sur l'eau, comme une « règle posée sur l'eau ».

L'accès des grosses pièces de machines dans l'usine se fait, depuis la rive gauche, par un puits et une galerie, dont le radier est à la cote (-7,00).

Les deux ouvrages : les pertuis de vannage et l'usine ne se rencontrent pas, il s'en faut d'un peu plus de 150 m ; cette brèche est fermée par une digue en enrochements avec voile intérieure en béton pour assurer son étanchéité.

Pour la navigation, une écluse de 65 m de longueur et 13 m de largeur est implantée dans la pointe de la Brebis, sur la rive gauche.

### Bétons.

Le béton des ouvrages est fait avec du ciment de haut fourneau — C.H.F. — contenant 30 p. 100 de clinker et 70 p. 100 de laitier. Les agrégats proviennent, en majeure partie, d'une carrière de grès feldspathiques, située sur la côte Ouest du

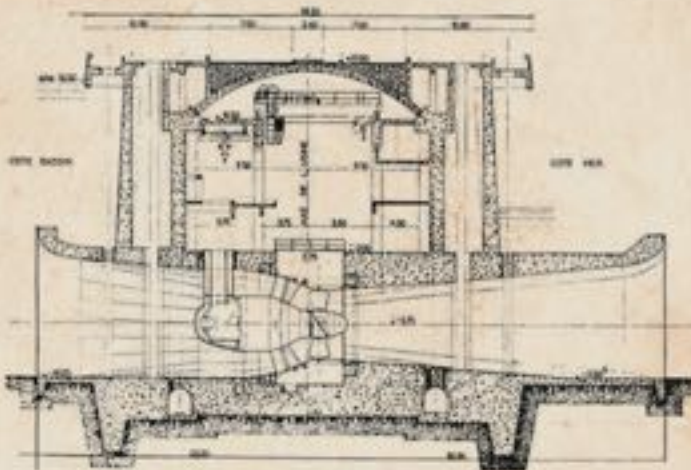
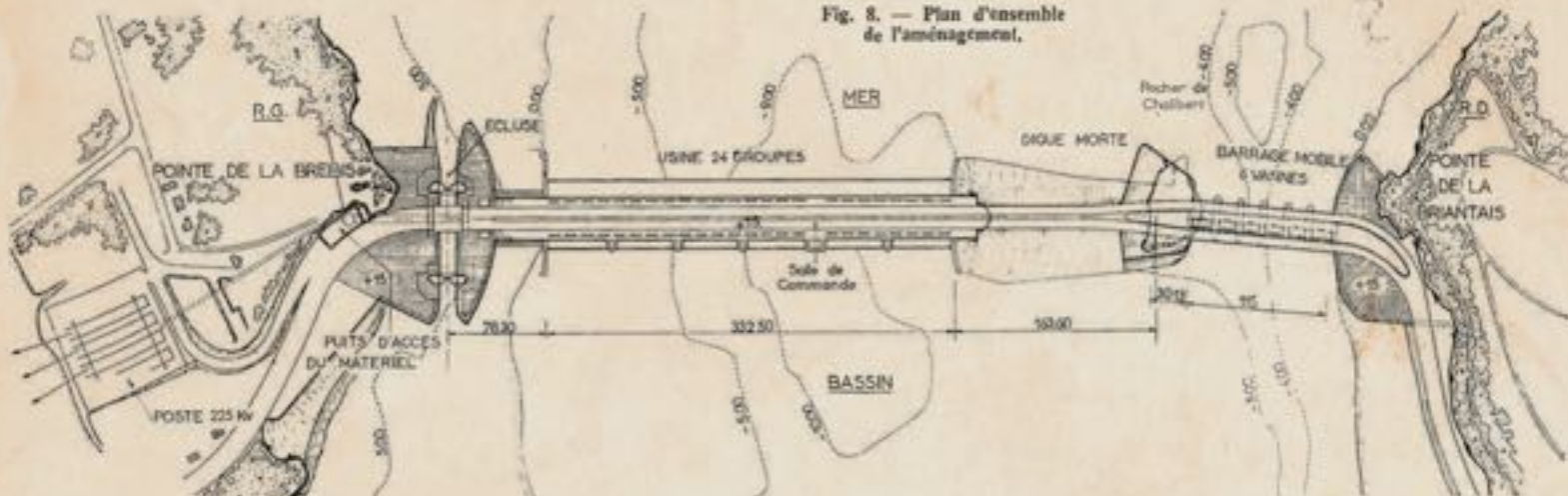


Fig 9. — Coupe transversale de l'usine.

Fig. 8. — Plan d'ensemble de l'aménagement.





cap Fréhel, à Pléhérel, à 40 km du chantier, et le sable de l'anse Duguesclin, plage située entre Saint-Malo et Cancale.

La mise au point des bétons, leur composition granulométrique, leur tenue à l'eau de mer, l'attaque des aciers contenus dans des bétons fissurés ont fait l'objet d'études très poussées dans un laboratoire construit, dès 1956, sur la rive gauche du chantier.

Afin d'éviter les risques de fissures et, par suite, de corrosion, les règles suivantes ont été adoptées pour le calcul des ouvrages :

- l'épaisseur minimale des bétons travaillant à la flexion doit être telle que — si l'on considère le béton comme un matériau homogène, non fissuré — la contrainte de traction, compte non tenu des armatures, ne dépasse pas 25 kg/cm<sup>2</sup> ;
- la section des armatures, armant ces bétons considérés comme fissurés, doit être telle que la contrainte de traction des aciers ne dépasse pas 10 kg/mm<sup>2</sup>.

SECONDE PARTIE

## Dispositions adoptées pour construire les ouvrages.

### 1. Disposition d'ensemble des batardeaux.

Les ouvrages sont construits, à sec, à l'intérieur de trois enceintes de batardeaux :

- une enceinte sur la rive gauche, pour l'écluse ;
- une enceinte, entre la rive droite et Chalibert, pour les pertuis de vannage ;
- une grande enceinte centrale pour l'usine et la digue, celle-ci étant faite avec les déblais rocheux provenant des fouilles de l'usine.

Dans une première phase, sont faites les deux premières enceintes, ainsi que les ouvrages définitifs correspondants, l'enceinte centrale est faite en seconde phase.

Le programme ainsi conçu a deux avantages :

- ne jamais interrompre la navigation, l'écluse étant mise en service avant que la Rance soit trop encombrée par les ouvrages de l'enceinte principale et que les courants deviennent trop violents ;
- faciliter la construction des batardeaux, ou plutôt de l'un des batardeaux de l'enceinte principale, en utilisant le large débouché : 900 m<sup>2</sup>, offert par les pertuis, pour réduire les dénivelées entre mer et estuaire.

### 2. Difficultés dues aux courants.

Il faut, en effet, barrer toute la Rance, isoler la rivière de la mer ; il faut que l'un des batardeaux de l'enceinte principale ait cette mission : couper la Rance en deux. C'est le rôle du batardeau situé côté mer, que l'on appelle, pour cette raison : batardeau de coupure.

On se rend compte qu'au fur et à mesure que, par suite de la construction des ouvrages, le passage offert à la marée se réduit, les dénivelées entre mer et estuaire — et entre estuaire et mer — vont en augmentant : les courants sont de plus en plus intenses et ce qui reste à faire devient de plus en plus difficile.

Les précisions ci-dessous le montrent bien. Le maximum d'intensité des courants a lieu sensiblement à la mi-marée, c'est-à-dire à la cote (+ 6,60) (C.M.) environ. A l'état naturel, la section d'écoulement, à ce niveau, est de 9 000 m<sup>2</sup>, et les vitesses sont de 4 à 5 nœuds en marée de vive-eau moyenne, le débit qui passe atteint 15 000 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Moyens envisagés pour la coupure de la Rance.

De nombreuses solutions ont été étudiées pour faire la coupure de la Rance. Les unes comportaient de grands caissons rectangulaires en béton armé, ou métalliques, que l'on venait fonder à l'air comprimé ; ils comportaient de grandes ouvertures de manière à n'offrir qu'un faible obstacle au courant. Ces ouvertures n'étaient fermées que lorsque tous les caissons étaient en place et convenablement lestés. D'autres solutions consistaient à construire à l'avancement une digue avec des enrochements de plus en plus gros. On obtenait ainsi une coupure, imparfaite il est vrai, en raison des débits filtrants à travers les blocs, mais à l'abri de laquelle on construisait un batardeau étanche en gabions de palplanches.

Toutes ces solutions furent essayées sur modèle réduit, ainsi que la solution finalement retenue qui sera décrite plus loin.

### 4. Modèle réduit.

Qu'il s'agisse d'étudier le mode de coupure, qu'il s'agisse d'étudier les problèmes posés pour l'exploitation de l'usine, un modèle réduit était nécessaire.

Sur le terre-plein du port de Saint-Malo, était construit, dès 1954, un modèle réduit au 1/150 représentant tout l'estuaire de la Rance : modèle très important de 125 m de longueur où, grâce à des appareils ingénieux mis au point par le « Laboratoire National d'Hydraulique » (1), on pouvait



Fig. 10. — Modèle réduit au 1/150.

reproduire, sans interruption, toute une séquence de marées telle qu'elle est connue par l'Annuaire des marées.

Avec ce modèle, il a été possible non seulement de connaître les modifications apportées à l'intensité et à la direction des courants par les ouvrages en cours de construction, mais encore de mesurer les dénivelées créées par le rétrécissement de la Rance et d'enregistrer de façon continue les efforts que ces ouvrages auraient à supporter lorsque, n'étant pas terminés et, par conséquent, n'ayant pas encore acquis leur stabilité définitive, ils devraient supporter les effets d'une marée d'une amplitude donnée.

On doit se féliciter d'avoir construit le modèle réduit à proximité du chantier. Combien de fois a-t-il été nécessaire de lui demander si telle opération était, ou non, possible à une époque donnée. En quelques jours, quelques heures parfois, la réponse était connue (2).

(1) Siège à Chatou.

(2) A l'échelle géométrique du modèle 1/150, le temps est représenté à l'échelle  $\sqrt{\frac{1}{150}}$ .

Une marée (12 h 25 mn) est reproduite en 1 heure.







est rempli de sable, un nouveau point d'appui, très stable. Il suffit ensuite de fermer les intervalles intermédiaires en les raccordant par des cellules de palplanches; mais la tâche se trouve facilitée, car on prend appui, alors, sur des ensembles ayant une grande résistance et, de plus, on dispose des pertuis de vannage pour réduire les dénivelées de part et d'autre du batardeau. Ces dénivelées n'ont jamais dépassé 3,30 m, conformément d'ailleurs aux indications du modèle réduit. Sans les pertuis elles auraient pu atteindre 6 m environ.

Une fois le batardeau de coupure achevé, les vannes sont fermées; l'estuaire est soustrait aux marées et transformé en un lac dont le niveau est fixé à la cote (8,50), ce qui est suffisant pour les besoins de la navigation.

Le batardeau côté estuaire, dont les amorces sont commencées avant la coupure, est alors achevé en eau morte. Réalisé par des gabions de palplanches de 16, 19 et 21 m de diamètre, il est arasé à la cote (+9,00), soit 5 m plus bas que le batardeau côté mer; d'où il résulte une importante économie.

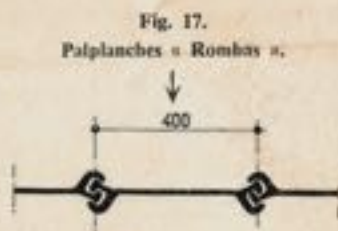
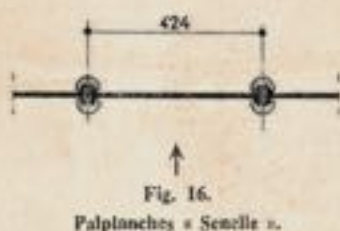
TROISIÈME PARTIE

**Conditions de stabilité des batardeaux.**

**1. Matériaux utilisés.**

**a) Palplanches.**

Les palplanches sont à âme plate, « Senelle » ou « Rombas ». Deux types sont employés : soit les palplanches ordi-



naires (épaisseur 10 mm) offrant une résistance à la rupture, par traction, de 300 t/ml; soit des palplanches renforcées (épaisseur 13 mm) ayant une résistance de 400 t.

**b) Sable de remplissage.**

Le sable provient des bancs les plus proches des ouvrages. Il est extrait par une drague suceuse et mis en place par voie hydraulique. Les caractéristiques sont les suivantes :

Densité (humide) .....	1,7
Densité (immérgé) .....	0,9
Angle de frottement interne .....	35°

On a admis pour coefficient de frottement du sable sur :

Fond rocheux .....	0,6
Sur le béton .....	0,5
Sur les palplanches .....	0,4

**c) Béton de l'assise des caissons.**

Coefficient de frottement sur le rocher de fondation : 0,7.

**d) Aciers (pour armatures des caissons) :**

Acier doux .....	1 440 kg/cm <sup>2</sup>
Acier Tor .....	2 100 kg/cm <sup>2</sup>

**2. Règles admises pour la stabilité.**

Les batardeaux sont arasés à la cote (+ 14,00), soit 0,50 m au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe.

Le sable des gabions et des cellules est drainé par un filtre annulaire en pierres cassées, mis en place avant le remplissage en sable. Il est admis que le niveau piézométrique de l'eau à l'intérieur du sable se tient à 3 m au-dessus du fond. Des tubes piézométriques permettent de s'assurer que le drainage s'effectue bien au cours du vidage des enceintes.

**a) Gabions.**

Le rapport entre la largeur moyenne utile et la charge d'eau doit être au moins égal à 0,85.

Il faut entendre par largeur moyenne utile la largeur fictive qui donne la même surface que le tracé festonné de la gabionnade. La règle ci-dessus revient à dire que la résultante passe toujours un peu en deçà du tiers central.

**b) Batardeau de coupure.**

Le rapport entre le poids du gabion et la poussée horizontale doit être au moins égal à 3.

Cette règle, un peu plus sévère que celle applicable aux gabions, signifie que la résultante passe davantage à l'intérieur du tiers central. Pour un ouvrage de 20 à 30 m de hauteur, son application conduit à des pressions sur le sol, au pied de la face amont des gabions, égales à environ la moitié de la charge d'eau.

**c) Coefficients de sécurité admis.**

Palplanches, coefficient : 2.

Au glissement des gabions et cellules sur la fondation rocheuse = > 1,5.

Dans les calculs, la densité de l'eau de mer a été prise à 1,027.

**3. Effet de la houle.**

Dans les premiers calculs, il n'avait pas été tenu compte de l'effet de la houle. La Rance coule, en effet, du Sud au Nord et, de ce fait, est bien orientée par rapport aux vents dominants. De plus, entre l'emplacement du barrage et l'embouchure, l'estuaire est parsemé de quelques flots qui constituent un abri contre les tempêtes. Enfin, d'après les statistiques datant de 1880, les terre-pleins du port de Saint-Malo, dont le niveau est de (14,06), n'ont jamais été submergés et les surcotes, dues soit à des dépressions atmosphériques, soit à la houle, n'ont jamais coïncidé avec les pleines mers de vives-eaux exceptionnelles.

Le 5 avril 1962, une grande tempête a ravagé la côte. On n'en avait pas vu de semblable depuis 1904, paraît-il. Des

Fig. 18. — Tempête du 5 avril 1962 dans la région de Saint-Malo.

(Photo Doucet, Dinard.)





digues se sont écroulées, des parapets ont été emportés, des immeubles sur le Sillon, à Saint-Malo, ont été abîmés.

Le chantier n'a subi aucun dommage. Toutefois des mesures de houle, faites à proximité du barrage, ont montré qu'il était prudent de prendre des précautions particulières pour la tenue des caissons isolés (c'est le cas où leur stabilité est la plus faible).

Ces précautions ont consisté à alourdir les caissons par des blocs de béton placés à leur sommet, et par de lourdes poutres en béton, franchissant l'intervalle entre deux caissons.

Le modèle réduit ayant indiqué les dénivelées et les efforts auxquels les caissons isolés étaient soumis, aux divers degrés d'avancement des travaux, on a pu déterminer ceux dont la stabilité devait être renforcée, en superposant aux efforts mesurés, l'effet de la houle.

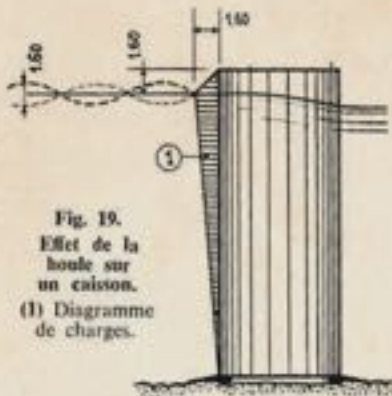


Fig. 19.  
Effet de la houle sur un caisson.  
(1) Diagramme de charges.

Il a été pris en compte une houle de 1,60 m d'amplitude, agissant sur les caissons comme l'indique le diagramme ci-contre. Pour tenir compte de la forme cylindrique de ces premiers appuis, il a été pris un coefficient de réduction du maître couple égal à 0,88.

QUATRIÈME PARTIE

## Exécution des batardeaux.

### 1. Batardeau de l'enceinte de l'écluse.

Cet ouvrage est composé essentiellement d'un mur poids en béton construit à la marée.



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 21. — Enceinte des pertuis.

Arasé à la cote (14,00), le mur en gradins, fondé sur le rocher, se termine par deux têtes fermées par une voûte mince en béton armé obturant les extrémités du sas de l'écluse.

Ce type de batardeau est, dans ce cas particulier, le plus économique puisqu'il peut être, en grande partie, conservé dans les ouvrages définitifs de l'écluse et les locaux annexes de l'usine.

Entrepris au début de 1961, 14 000 m<sup>3</sup> de béton étaient mis en œuvre à son achèvement en septembre 1961.

### 2. Batardeau de l'enceinte des pertuis.

Cet ouvrage comporte deux branches de gabions de 19 m de diamètre, distants de 23 m d'axe en axe, raccordés par des arcs de 3,75 m de rayon.

Chaque gabion comprend :

- une enveloppe circulaire de 19 m de diamètre en palplanches métalliques plates ;
- un filtre annulaire à la base ;
- un remplissage en sable ;
- un cordon d'étanchéité.

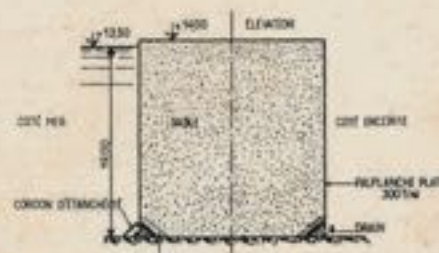


Fig. 20. — Enceinte de l'écluse.  
(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 22. — Tronçon d'une gabionnade.





(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 23. — Mise en place du gabarit pour construction d'un gabion de l'enceinte des pertuis.



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 24. — Gabion de  $\varnothing$  19 m. Mise en fiche des palplanches autour du gabarit.

Fig. 25. — Remplissage en sable.

(Photo H. Baranger, Paris.)



Au préalable, un dragage des fonds est fait, de façon à faire reposer le gabion sur le rocher.

La construction d'un gabion se fait à l'aide d'un gabarit forme d'une charpente métallique maintenue par huit pieux couissants, réglables, prenant appui sur le fond rocheux de la Rance.

Le schéma de construction est le suivant :

- amenée du gabarit par mâture de 160 t;
- descente, réglage et blocage des pieux;
- réglage des cerces de 19 m de diamètre supportées par le gabarit aux cotes (5,50) et (11,50);
- mise en fiche des palplanches tenues par points de soudure sur les cerces et par ridoirs sur le gabarit;
- léger battage après fermeture, pour faire mordre de quelques décimètres les palplanches dans le rocher plus ou moins altéré en surface;
- exécution du filtre et du lestage en sable par remblai, hydraulique jusqu'au niveau de la première cerce;
- retrait du gabarit après relevage des pieux;
- achèvement du lestage en sable.

Le raccordement de deux gabions successifs est fait au moyen de deux arcs de palplanches plates construits à l'aide de gabarits légers en charpente, fixés sur les gabions. Chaque raccordement reçoit, comme les gabions, un filtre et un lestage en sable.

Les branches Nord et Sud du batardeau des pertuis sont raccordées aux rives par des enracinements formés par des murs poids en béton construits à la marée.

De même, sur l'îlot de Chalibert, l'enceinte est fermée par un mur poids en béton construit à la marée.

Commencée au début de 1961, l'enceinte des pertuis a été terminée au mois d'octobre de la même année.

Elle a nécessité la mise en œuvre de :

- 8 000 m<sup>3</sup> de béton;
- 2 800 t de palplanches;
- 90 000 m<sup>3</sup> de sable.

L'époussement entrepris aussitôt après exécution d'un cordon d'étanchéité en sacs d'argile au pied des palplanches côté mer et estuaire, mis en place par hommes-grenouilles, n'a pas présenté de difficultés particulières. Toutefois, afin de permettre aux gabions de se drainer, cet époussement a été assez lent et le niveau constamment suivi grâce à des tubes piézométriques placés dans chaque gabion. Après terminaison de l'étanchéité, le débit de fuite a été de l'ordre de : 400 à 700 m<sup>3</sup>/h pour un développement de 507 ml sur les deux branches du batardeau.

### 3. Essais réalisés sur un gabion de l'enceinte des pertuis.

Afin de vérifier les règles admises pour la stabilité du batardeau, des essais ont été réalisés sur l'un des gabions les plus profonds.

Il a été exécuté sur ce gabion :

- des mesures du niveau piézométrique à l'intérieur du sable de remplissage;
- des mesures topographiques de déformation du gabion;
- des mesures de densité du sable de remplissage;
- des mesures des

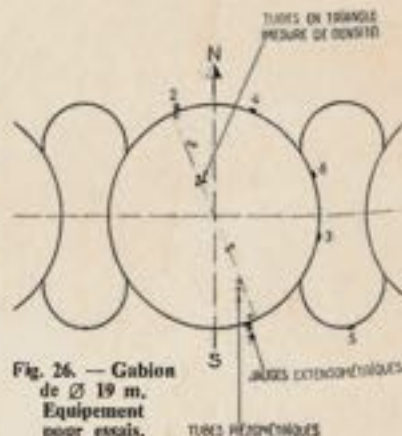


Fig. 26. — Gabion de  $\varnothing$  19 m. Equipement pour essais.



efforts de traction dans les palplanches par jauges extensométriques.

Ces mesures ont permis les constatations suivantes :

a) Le dispositif de drainage est efficace. Après épuisement, le niveau de l'eau s'est maintenu dans le gabion légèrement au-dessus de la fondation.

b) La densité du sable humide est beaucoup plus faible que celle prévue : 1,58 à 1,53 au lieu de 1,70.

c) Les contraintes de traction données par la demi-somme des tensions relevées aux extensomètres placés de part et d'autre de la palplanche ont atteint les valeurs maximales suivantes, exprimées en kilogrammes par millimètre carré.

Côté enceinte :

$P_1$  (gabion) 15,8 au niveau (+ 0,30) au cours de l'épuisement;

$P_1$  (raccord) 11,75 — (+ 1,50) enceinte épuisée.

Côté mer :

$P_2$  (gabion) 9,9 — (+ 2,00) avant épuisement, mer à (+ 9,90);

$P_4$  (gabion) 10,2 — (+ 1,80) enceinte épuisée, mer à (+ 1,50).

Jonction :

$P_3$  (gabion) 15,0 — (- 0,70) enceinte épuisée.

Les valeurs obtenues pour les tractions aux différents niveaux d'une palplanche ne paraissent pas suivre une loi définie.

Il semble que les conditions de mise en fiche des palplanches et de remplissage du gabion aient une très grande influence.

d) Les tractions les plus fortes ne se trouvent pas au niveau le plus bas et les efforts diminuent avec le temps.

e) L'application du moment de renversement augmente théoriquement les tractions du côté de l'enceinte et les diminue du côté de la mer; toutefois cette influence reste faible même en période de grande vive-eau (de l'ordre de 0,6 à 0,7 kg/mm<sup>2</sup> par exemple sur la palplanche  $P_1$ , côté enceinte).

f) Les coefficients de pression horizontale du remblai sableux sont, comme les valeurs obtenues pour les tractions dans les palplanches, extrêmement variables. Toutefois, on constate que les valeurs calculées sont supérieures au coefficient de poussées des tables et peuvent atteindre 0,60. Les contraintes de cisaillement maximum dans les palplanches sur l'axe de la gabionnade sont pratiquement constantes quelle que soit la hauteur de la marée.

g) Les déplacements horizontaux mesurés en tête du gabion ont été faibles (12 cm). Ils ont été atteints progressivement et ont évolué avec l'importance des marées.

#### 4. Batardeau de coupure.

Après exécution des enceintes de l'écluse et des pertuis, le batardeau de coupure est entrepris dès le mois de novembre 1961. Il comporte des amorces en gabions de palplanches de 19 m de diamètre sur une longueur de 240 m, qui viennent se raccorder aux deux enceintes exécutées rive droite et rive gauche.

La coupure de la Rance est réalisée dans la partie centrale sur une longueur de 360 m.

##### a) Phases d'exécution.

La stabilité des éléments et des ensembles qui constituent le batardeau de coupure varie avec l'importance des marées. On doit donc vérifier que ces divers éléments ou ensembles restent stables lors de leur construction et après celle-ci, compte tenu des dénivelées au droit des ouvrages qui sont

fonction de la section laissée encore libre au droit du batardeau et de l'amplitude de la marée.

Les coefficients de sécurité adoptés, définis par le rapport des moments des forces stabilisantes (poids), et des forces

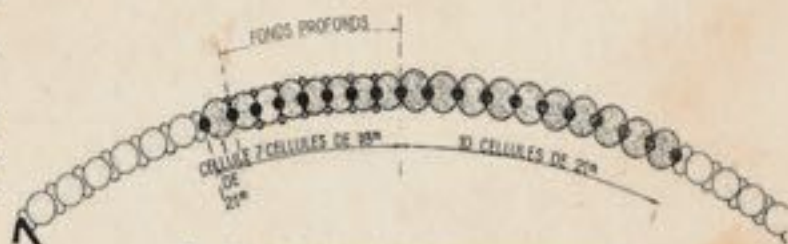


Fig. 27. — Enceinte principale. Batardeau de coupure.

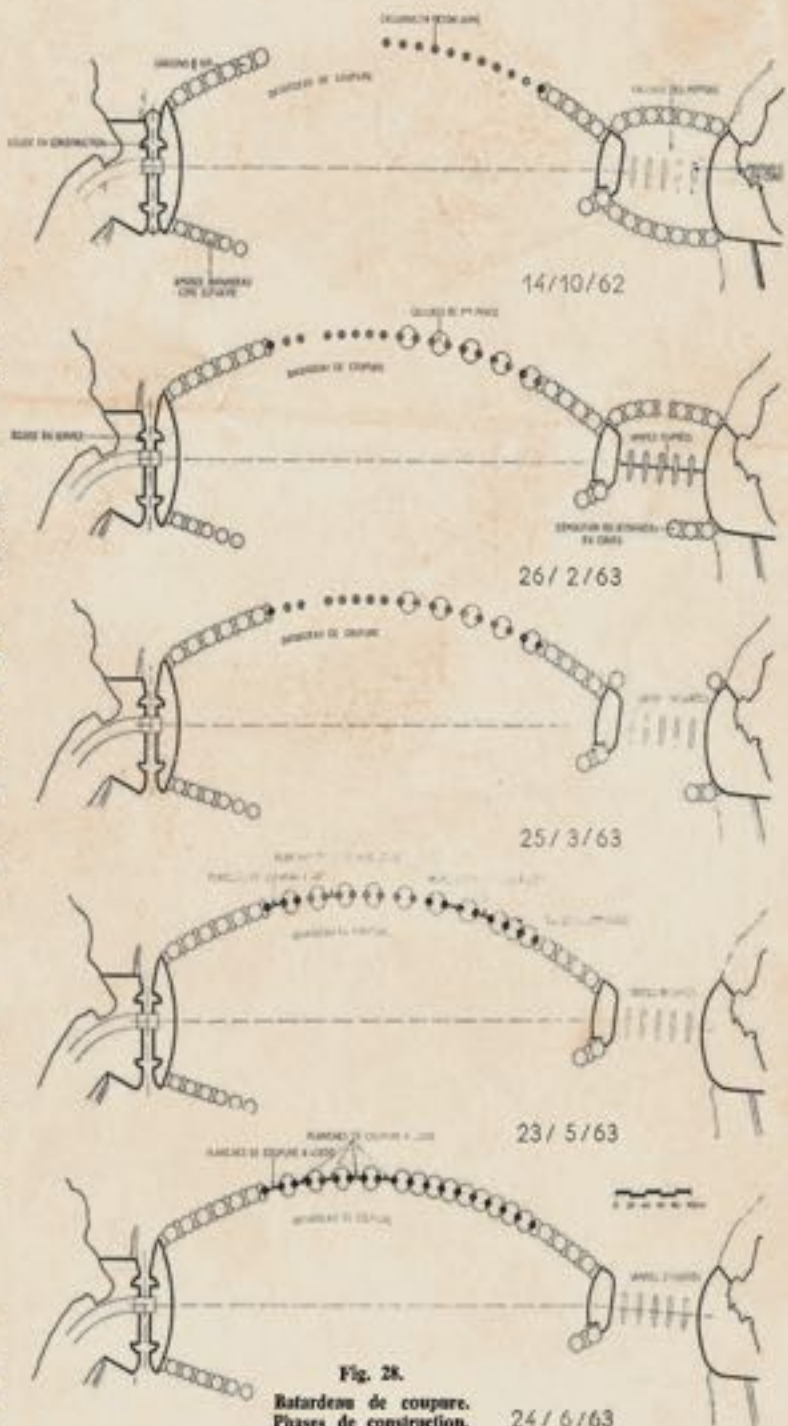


Fig. 28. Batardeau de coupure. Phases de construction. 24/6/63



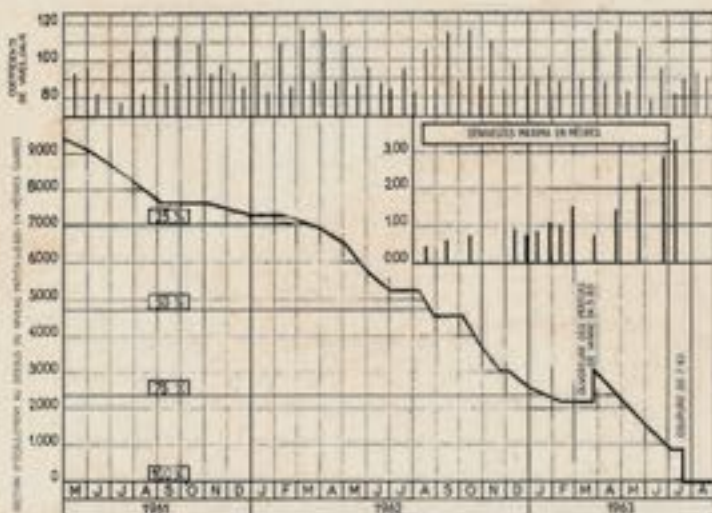


Fig. 29. — Fermeture progressive de la Rance.

tendant au renversement (courant, houle), ont été fixés :

- Pour les caissons isolés ..... à 2,0
- Pour les caissons reliés par des planches de coupe provisoire arasées à cote 0, dont il est question plus loin ..... à 1,6

Pour que ces coefficients de sécurité soient respectés, il est donc nécessaire de prévoir des phases d'exécution et de faire en sorte que la réalisation suive bien le programme prévu.

Il est, par exemple, indispensable de procéder à la démolition du batardeau des pertuis et à l'ouverture des vannes avant la grande marée de mars 1963, afin d'assurer la sécurité des caissons isolés déjà placés en Rance.

Les dénivelées, de part et d'autre du batardeau en construction, sont donc mesurées régulièrement afin de vérifier qu'elles correspondent bien aux indications du modèle réduit, et que les ouvrages ne sont pas en péril.

La figure 28 donne l'état d'avancement du batardeau aux dates les plus importantes de sa réalisation, et la figure 29 les sections de passage et les dénivelées constatées.

(Photo Doucet, Dinard.)



b) Caissons en béton armé et leurs fondations.

1° Caissons.

Dix-neuf caissons cylindriques en béton armé de 9 m de diamètre, espacés de 18 ou 21 m d'axe en axe, suivant la profondeur du lit de la Rance, forment autant de points d'appui pour la réalisation de la coupure.

Ces caissons, dont la hauteur varie de 17 à 25 m, sont réalisés en deux parties : l'une, dite infrastructure, de 12 à 19 m de hauteur, l'autre, appelée superstructure, pour arriver à la cote définitive.

Simultanément, deux infrastructures sont construites horizontalement, dans la forme de radoub du port de Saint-Malo, sur des coffrages supportés par des murs en béton. Une fois achevées, les infrastructures sont mises à flot et déplacées par flottage, leur extrémité ouverte étant fermée par des tampons métalliques.

Les superstructures, de hauteur variable avec la cote d'arasé des infrastructures, sont construites verticalement sur les terre-pleins du port.

Les deux éléments formant un caisson supportent deux plaques spéciales, diamétralement opposées, destinées à l'accrochage des palplanches des cellules.

Toutefois, l'ossature même du caisson n'est pas susceptible de reprendre les efforts de traction des arcs des cellules. Les plaques spéciales, comportant les encoches pour le raccordement du rideau de palplanches, sont reliées par deux files de tirants boulonnés de 52 mm et 60 mm de diamètre espacés de 0,25 à 0,48 m, disposées de part et d'autre d'une cloison diamétrale en béton armé.

Ces tirants reçoivent une tension initiale de 30 t.

Les caissons comportent également deux rainures diamétralement opposées permettant la mise en place de planches de coupe formant un rideau vertical.

Commencée à la fin de l'année 1961, la construction des 19 caissons en béton armé a duré une année et a nécessité la mise en œuvre de :

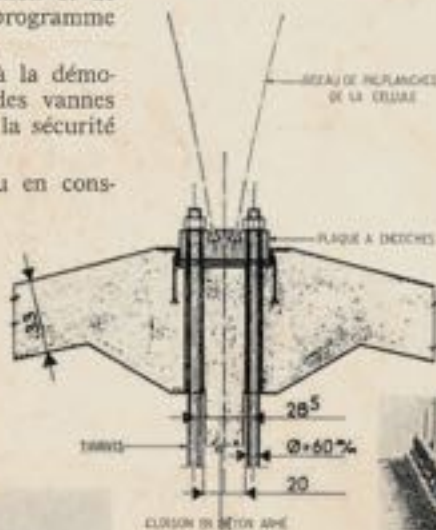


Fig. 31. — Caisson en béton armé. Fixation de la plaque à encoches.

Fig. 31 bis. Plaques à encoches.

Fig. 30. — Caisson en béton armé en cours de construction.



(Photo Doucet, Dinard.)





(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 32. — Caisson mobile pour travaux à l'air comprimé.

- 875 t d'acier pour béton armé ;
- 915 t d'acier pour plaques à encoches, tirants et divers ;
- 5 500 m<sup>3</sup> de béton.

Les caissons construits dans la forme de radoub du port

de Saint-Malo doivent être transportés et échoués à leur emplacement du batardeau de coupure.

### 2° Fondations des caissons.

Il est nécessaire d'établir sous l'eau des plates-formes sur lesquelles doivent être échoués les caissons. Suivant les emplacements, le fond rocheux de la Rance se tient entre (-4,00) et (-12,00). Aussi, pour effectuer ce travail, la construction d'un grand caisson spécial, rectangulaire, équipé pour travailler à l'air comprimé, est-elle entreprise dès l'ouverture du chantier. Ce caisson spécial, de 23 m de hauteur, déplaçant 3 000 t, possède une chambre de travail de 22 m x 15 m et de 2 m de hauteur, dans laquelle on accède par deux cheminées munies de sas. Il est déplacé vers le point choisi lors d'une marée de morte-eau, et échoué au moment de la renverse des courants par remplissage du ballast.

La fondation destinée à recevoir un caisson en béton armé est aussitôt entreprise. Elle est constituée par une plate-forme annulaire en béton, présentant un encuvement formant butée, et laissant un jeu de 10 cm par rapport aux dimensions de la base du caisson. Il convient de noter, au passage, la précision exigée dans l'échouage des caissons, dont la base doit s'emboîter dans cet encuvement.

### 3° Caisson en béton armé.

L'infrastructure des caissons en béton armé construits horizontalement dans la forme de radoub du port de Saint-Malo est amenée en Rance par flottaison, puis échouée en position verticale sur la fondation préparée au caisson mobile à air comprimé.

L'opération d'échouage consiste à appliquer une tension constante de deux fois 20 t au fond du caisson et à le lester en eau simultanément de façon que sa stabilité verticale

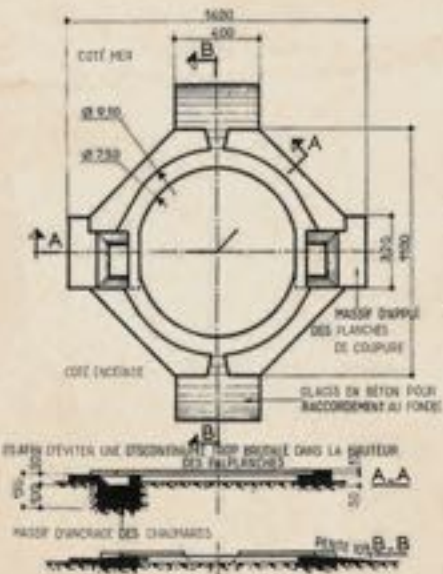


Fig. 33. — Plate-forme l'assise d'un caisson en béton armé.

Fig. 34. — Manœuvre d'échouage d'un caisson en béton armé.

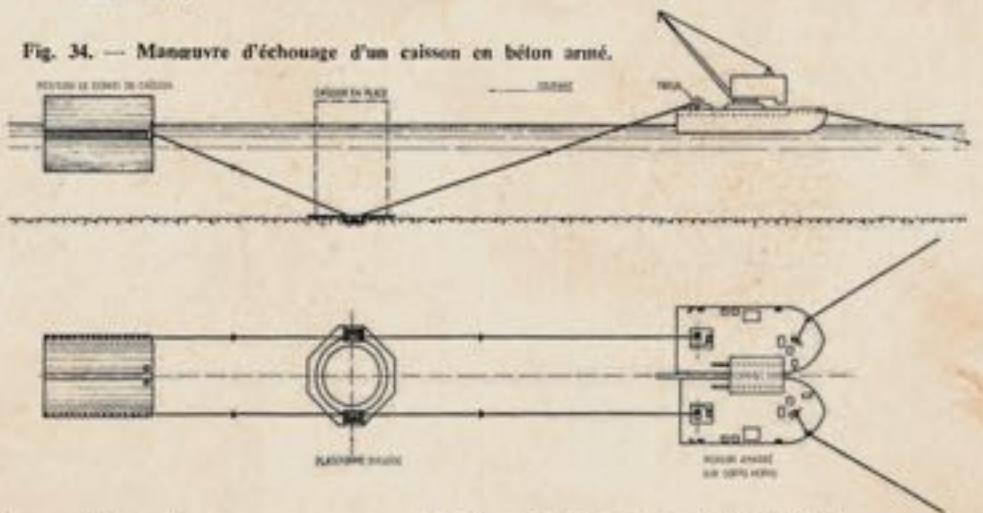


Fig. 36. — Caisson en cours de basculement.

(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 35. — Manœuvre d'échouage d'un caisson en béton armé.

(Photo Doucet, Dinard.)





et son couple de redressement deviennent positifs avant échouage.

Elle n'est possible que par morte-eau et lorsque les courants de marée sont faibles.

La traction sur le caisson est faite, au moment de son lestage en eau, par deux câbles s'enroulant sur des treuils placés sur un ponton et passant par les deux points fixes, réalisés par les chaumards ancrés dans la fondation en béton, exécutée au caisson mobile à air comprimé.

Dès que l'échouage est terminé, on procède à la mise en place de la superstructure par le ponton mâturé de 160 t, et le caisson peut recevoir son lest de sable. Ce lestage est complété par deux blocs de 150 t placés au sommet de chaque caisson.

L'ensemble des caissons est relié par des poutres réalisant une passerelle de service sur le batardeau de coupure.

Ces poutres sont, en général, constituées par un treillis métallique, toutefois, 9 d'entre elles ont été construites en béton armé afin de charger les caissons les plus hauts.

### c) Construction des cellules de palplanches. La coupure.

Les cellules de palplanches lestées de sable sont destinées à fermer les 18 intervalles entre caissons.

Elles sont constituées par deux arcs de palplanches plates de 9 m ou 10,75 m de rayon, suivant que l'espacement des caissons est de 18 m ou de 21 m. Les intervalles sont fermés à raison de un sur deux, par des cellules dites de première phase.

Dès que les cellules de première phase sont terminées, le batardeau ne comporte plus de caisson isolé et les problèmes de stabilité ne se posent plus.

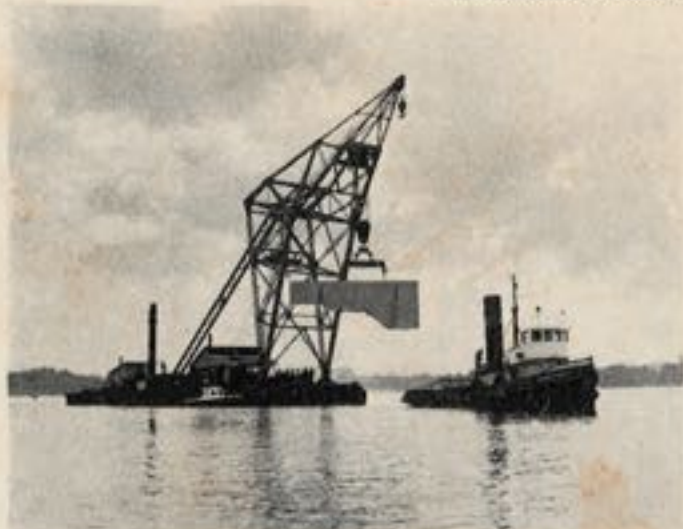
Pour permettre la construction d'une cellule en présence des courants de marée, il est nécessaire de couper les courants dans la brèche que l'on veut fermer. Ce résultat est obtenu à l'aide de planches de coupure provisoire descendues dans les rainures ménagées dans les caissons. Jusqu'à une cote voisine de (-3,00), on met en place des planches en béton armé qui, restant dans l'ouvrage, sont noyées dans le sable. Les planches en béton armé peuvent avoir de 1 à 4 m de hauteur et peser de 20 t à 80 t; la planche inférieure est construite à la demande suivant le profil du rocher entre les deux caissons. Au-dessus de la cote (-3,00), les planches de coupure sont métalliques et peuvent être récupérées.

Les planches de coupure sont mises en place au moment de la renverse des courants de marée.

Les palplanches des cellules de première phase sont mises en fiche autour d'un gabarit en charpente métallique comportant deux tables aux cotes (11,00) et (5,00),

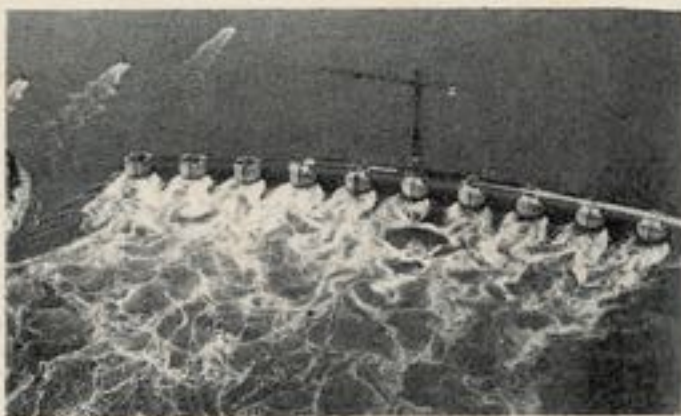
Fig. 39. — Planche de coupure en béton armé.

(Photo Doucet, Dinard.)



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 37. — Superstructure d'un caisson.



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 38. — Batardeau de coupure (octobre 1962). Courants de flot.

Sous la table supérieure sont fixés des flotteurs qui permettent l'amenée du gabarit par flottaison à son lieu d'emploi. Certains flotteurs sont équipés d'un double fond, formant

Fig. 40. — Construction des cellules. Gabarit en cours d'accrochage.

(Photo Doucet, Dinard.)







(Photo Doucet, Dinard.)

ballast, pour le réglage de la gîte du gabarit pendant son accrochage.

Le gabarit est fixé aux deux caissons limitant la cellule par une manille tenue par un croc soudé sur un tronçon de palplanche. Cette palplanche est enclenchée dans l'encoche disponible de la plaque fixée sur le caisson.

Après mise en place du gabarit, on procède à la mise en fiche au moyen d'une grue-tour circulant sur la passerelle de service. Cette opération se fait en deux ou trois jours, à l'occasion d'une morte-eau, au moment où les courants de marée sont les plus faibles. On laisse des fenêtres dans les rideaux pour permettre le marnage à l'intérieur de la cellule. Puis, après battage et exécution du filtre, on procède le plus rapidement possible à un premier lestage en sable. La tenue des palplanches est assez précaire à ce stade de la construction ; le premier lestage en sable a donc pour but de renforcer la tenue des palplanches à la base et de maintenir, à l'intérieur de la cellule, une légère surpression d'eau. On procède alors à la fermeture des fenêtres, à l'enlèvement des planches métalliques de coupure et à la fin du lestage par remblaiement hydraulique. Le gabarit est enlevé après remplissage en sable et mis en place pour la cellule suivante.

Commencée en octobre 1962, la construction des cellules de première phase s'est terminée au début du mois de mai 1963 sans incident particulier.

La dénivellée maximum constatée de part et d'autre du batardeau de coupure durant cette période est de 1,50 m lors de la vive-eau de février, mais la mise en service des pertuis de vannage avant la vive-eau de mars permet d'abaisser cette dénivellation à 0,75 m pour une même amplitude de marée.

L'exécution des cellules de première phase se termine début mai sans qu'on retrouve des conditions aussi difficiles que lors de la vive-eau de février. Le processus d'exécution des cellules de deuxième phase est le même que celui décrit pour les cellules de première phase. Toutefois, leur construction a été plus difficile ; en effet, les ouvrages déjà mis en place sur le batardeau de coupure obstruent, malgré l'ouverture des pertuis de vannage, 80 p. 100 environ de la section de passage de la Rance au-dessous du niveau moyen de la marée.

Bien que l'amplitude des marées aux mois de mai et juin soit inférieure à celle des marées d'équinoxe de printemps, la dénivellée constatée de part et d'autre du batardeau, au flot et au jusant, ne cesse de croître ; elle atteint 2 m les 24 et 25 mai, alors qu'il reste à construire sept cellules de deuxième phase.

De plus, après la vive-eau de mai, on constate une érosion du rocher entre les caissons dans la plupart des brèches qui restent à fermer.



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 42. — Batardeau de coupure (mars 1963). Courants de flot.



Fig. 41. — Cellule en cours de construction.



(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 43. — Mise en place d'une planche de coupure munie d'une herse.

Fig. 44. — Ecoulement au droit d'un caisson et d'une cellule.

(Photo Doucet, Dinard.)







(Photo Doucet, Dinard.)

Fig. 45. — Vue générale du chantier (juin 1963).

Il est donc nécessaire à la fois de fermer le plus rapidement possible et de limiter les érosions.

Trois cellules sont construites avant la vive-eau de juin et les quatre cellules restantes reçoivent une protection contre les érosions. Cette protection est faite, soit avec des blocs de béton de 2 m<sup>3</sup> posés de part et d'autre des planches de coupure placées dans les brèches jusqu'à la cote (-3,00) (niveau indiqué par le modèle comme étant le meilleur pour limiter les érosions), soit avec une herse en palplanches « Larssen » pouvant coulisser sur la planche de coupure inférieure et descendre jusqu'au fond rocheux.

Ce dispositif mis en place avant la marée de vive-eau du 24 juin se révèle efficace bien que la dénivelée atteigne près de 3 m. Deux cellules sont construites et les deux dernières brèches fermées le 4 juillet. Dès ce moment, la coupure est virtuellement réalisée.

La Rance passe par le seul débouché des 900 m<sup>3</sup> des pertuis de vannage, et les dénivelées observées atteignent 3,30 m le 8 juillet.

Les deux dernières cellules se terminent et les vannes sont fermées le 20 juillet 1963, le plan d'eau dans l'estuaire étant fixé à la cote (8,50).

Par suite des érosions dans les dernières brèches, le pied des palplanches de certaines cellules atteint le fond rocheux

Fig. 46. — Etat des travaux fin décembre 1963.

(Photo Doucet, Dinard.)



de la Rance 2 m à 2,50 m au-dessous de la cote prévue, c'est-à-dire à la cote (-14,00) à (-14,50).

Il est donc nécessaire de buter le pied de ses palplanches dans la zone où l'arc de la cellule ne se referme pas sur la plaque à encoches du caissons dont le pied est à la cote (-12,00).

Un massif de butée en béton coulé sous l'eau chargé de sable est exécuté au pied des quatre cellules les plus profondes. Il est calculé de façon à procurer par son frottement sur le sol rocheux une réaction égale à la poussée exercée sur le rideau de palplanches au-dessous de la cote (-11,00).

Au total, la construction du batardeau de coupure a demandé la mise en œuvre de :

- 32 000 m<sup>3</sup> de déblais par dragage;
- 1 800 m<sup>3</sup> de déblais à l'air comprimé;
- 1 200 m<sup>3</sup> de béton à l'air comprimé;
- 10 000 m<sup>3</sup> de béton armé;
- 1 900 m<sup>3</sup> de béton coulé sous l'eau;
- 6 500 t de palplanches;
- 240 000 m<sup>3</sup> de sable de lestage.

## 5. Batardeau côté estuaire.

Pour constituer l'enceinte nécessaire à la construction de l'usine, il faut, après la coupure de la Rance, s'isoler de l'estuaire par un batardeau.

Cet ouvrage est déjà entrepris avant la coupure de la Rance en partant de la rive gauche où il est possible, compte tenu des courants de marée, de construire sept gabions de 16 m de diamètre et leurs arcs de raccordement. Cette construction est faite suivant le même processus que pour les batardeaux des pertuis.

Puis, le plan d'eau dans l'estuaire étant fixé à la cote (8,50), la construction de l'ouvrage se poursuit en eau calme. Quelques mouvements d'eau sont toutefois nécessaires pour obtenir une mise en tension des palplanches par tassement du sable de remplissage.

La construction de ce batardeau se termine fin octobre et la vidange de l'enceinte est aussitôt entreprise.

Pour cet ouvrage, 4 800 t de palplanches plates et 140 000 m<sup>3</sup> de sable de lestage sont mis en œuvre.

Depuis près de trois ans que le chantier est ouvert, les travaux se sont déroulés suivant le programme prévu :

- l'écluse a été achevée en temps utile et jamais la navigation n'a été interrompue;
- les pertuis de vannage ont été mis en service avant la marée d'équinoxe de printemps — le grand flot de mars — et ont pu ainsi réduire les dénivelées, donc les efforts sur les ouvrages en construction;
- la coupure a été effectivement réalisée, avec un retard insignifiant de 15 jours, trente mois après le début des travaux, comme le programme l'indiquait.

Il est à souhaiter que les travaux se poursuivent suivant cette bonne lancée, afin qu'en 1966 ELECTRICITÉ DE FRANCE puisse recevoir sur son réseau haute tension les premiers kilowattheure tirés de la mer, domestiquée pour le plus grand bien des hommes.

..

Au moment de mettre sous presse, nous apprenons que la vidange de l'enceinte est terminée, que les débits de fuite sont relativement faibles. Les minages nécessaires à la construction de l'usine sont déjà très avancés.

Sur la photo ci-contre, qui date de fin décembre 1963, on remarquera l'ouverture, dans le batardeau de l'écluse, destinée à assurer le raccordement de l'usine avec la galerie d'accès rive gauche. On remarquera également, au départ de Chalibert, le début de la construction de l'écran d'étanchéité de la digue morte.

G. MAUBOUSSIN et G. SOUILLÉ.



## Mardi 8h, un client me demande si mon entreprise et mes salariés sont bien protégés.

- J'ai plusieurs assureurs, cela va être compliqué.
- Je n'ai pas vu mon assureur depuis 5 ans : je suis perdu.
- Je reste serein : mes conseillers SMABTP et SMAvie sont là, ils ont tout prévu !



### Franck et Sophie, conseillers en assurance SMABTP et SMAvie

« Quand un problème arrive à l'un de nos clients, ce n'est jamais celui qu'il imaginait ! Heureusement, notre expérience nous permet de réagir vite et d'apporter le meilleur conseil aussi bien en assurance construction qu'en assurance de personnes. Ensemble, nous répondons à tous les besoins de nos assurés »

Fort de plus de 150 ans d'expérience, SMA assure les professionnels du BTP. Son expérience en fait un acteur incontournable qui vous accompagne à chaque instant. Il vous apporte des solutions performantes pour l'exercice de votre métier, pour votre protection et celle de vos salariés, avec des interlocuteurs proches de vous et toujours disponibles !

**Notre métier : assurer le vôtre**

Retrouvez nous sur  
[www.groupe-sma.fr](http://www.groupe-sma.fr)

ACTIVITÉ	Responsabilité décennale - Responsabilité civile Dommages en cours de travaux - Protection juridique
BIENS PROFESSIONNELS	Engins de chantier - Locaux - Véhicules
DIRIGEANTS ET SALARIÉS	Couverture des engagements sociaux - Épargne Prévoyance - Retraite collective et individuelle

# SMA

**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 - 75729 PARIS Cedex 15

**SMAvie BTP**, société mutuelle d'assurance sur la vie du bâtiment et des travaux publics, société d'assurance mutuelle à cotisations fixes, entreprise régie par le Code des assurances  
RCS PARIS 775 684 772 - 114 avenue Emile Zola - 75729 PARIS Cedex 15





# SAVOIR FAIRE LA DIFFÉRENCE

## TRAVAUX FLUVIAUX

- Barrages
- Ecluses
- Passes à poissons
- Estacades
- Batardeaux en palplanches en rivières
- Protection de berges de fleuves et rivières
- Reprise des fondations d'ouvrages d'art en rivière
- Curage de rivières, canaux

## TRAVAUX MARITIMES

- Quais sur pieux-tube, palplanches, caissons BA
- Ports de plaisance : créations, extensions
- Ducs-d'Albe d'amarrage et d'accostage, passerelles RO-RO, travaux d'entretien dans les zones portuaires
- Rampes, cales à bateaux
- Ecluses
- Emissaires en mer

**Les spécialistes des travaux maritimes et fluviaux du groupe Eiffage interviennent dans toutes les configurations depuis les études jusqu'à l'exploitation.**



**EIFFAGE**  
TRAVAUX MARITIMES  
ET FLUVIAUX

[www.eiffagetravauxpublics.com](http://www.eiffagetravauxpublics.com)