

## **LA STATION D'ÉPURATION DES GRÉSILLONS : UN EXEMPLE D'UTILISATION DE LA 3D ET DE L'ÉVOLUTION RÉGLEMENTAIRE**

Benoît SAUNIER, Solène SAPIN  
BOUYGUES Travaux Publics

5 ans après avoir livré la station d'épuration des Grésillons (Yvelines, France), Bouygues Travaux Publics vient de réaliser l'extension de l'usine existante, dite Grésillons 2. L'objectif de cette extension est de tripler la capacité de traitement de l'usine existante, pour atteindre les 300000m<sup>3</sup> d'eau traitée par jour. Ce projet consiste en la réalisation d'une trentaine de bâtiments qui se font tous en parallèle, dont une partie est enclavée dans l'usine existante.

15 mois de travaux de Génie Civil ont été nécessaires pour couler les quelques 90000 m<sup>3</sup> de béton et ainsi ériger l'ensemble des bâtiments. Près de 900 personnes ont été mobilisées sur site, jusqu'à 18 grues à tour ont été installées, et 11000 tonnes de ferrailage ont été mises en œuvre. Un de ces bâtiments, dénommé le Biostyr, représente à lui seul 38000 m<sup>3</sup> de béton. L'étude de ce bâtiment hors-normes (300 m de long pour 47 m de large) a permis de nous développer autour de 2 axes :

- La mise en place d'une « Maquette Numérique » 3D.
- Une étude comparative entre les règlements à appliquer (BAEL et Fascicule 74) et la nouvelle Réglementation à venir que constitue l'Eurocode 2.

### **« GRÉSILLONS » USED WATER-TREATMENT CENTER : AN EXAMPLE OF 3D-USE AND OF THE RULES EVOLUTION**

5 years after delivering the WWTP Grésillons (Yvelines, France), Bouygues Travaux Publics has just completed the expansion of the existing plant, called Grésillons 2. The purpose of this extension is to triple the processing capacity of the existing plant to meet 300000m<sup>3</sup> of treated water per day. This project involves the construction of thirty buildings, part of which is enclosed in the existing plant. 15 months of civil works were needed to pour some 90000 m<sup>3</sup> of concrete and erect all the buildings. Nearly 900 people were mobilized on site, up to 18 tower cranes have been installed, and 11,000 tons of steel reinforcement were implemented. One of these buildings, called the "Biostyr", represents on his own 38000 m<sup>3</sup> of concrete. The study of this non-standard building (300 m long and 47m wide) allowed us to develop around two axes:

- The establishment of a 3D "Digital Mockup".
- A comparative study of the french design rules (BAEL and Fascicule74) with the new european "Eurocode 2" rules.

### **ÉVALUATION DU GAIN DE DURABILITÉ APPORTÉ PAR L'UTILISATION D'UN PROCÉDÉ DE NAPPE DE COFFRAGE DRAINANTE POUR UN BÉTON EN SITE MARITIME**

Benoit THAUVIN – CETE Ouest, Nicolas ROUXEL,  
Stéphane PASQUIET - CETMEF

L'objectif d'une nappe de coffrage drainante (ou nappe de coffrage à perméabilité contrôlée) est d'améliorer les caractéristiques de la peau du béton. Dans la pratique, le procédé

est mis en œuvre sur les panneaux de coffrage préalablement au coulage du béton. En augmentant la compacité superficielle du béton par drainage de l'eau en excès, ce procédé doit améliorer la durabilité du béton armé vis-à-vis de la corrosion des armatures. L'utilisation d'un tel procédé pourrait donc permettre d'augmenter la durée de vie des structures maritimes en béton armé en améliorant les propriétés de peau du béton et en ralentissant la pénétration des chlorures à l'origine de la corrosion.

La présente étude, réalisée à la demande du CETMEF, a pour objectif de qualifier et de quantifier le gain de durabilité apporté par l'utilisation d'une nappe de coffrage drainante. Elle s'appuie sur l'évaluation d'indicateurs de durabilité et de témoins de durée de vie. L'expérimentation repose sur la réalisation d'essais de caractérisation sur des corps d'épreuves confectionnés en utilisant un procédé de nappe de coffrage à perméabilité contrôlée.

Un dispositif dit de "vieillesse accélérée" par cycle de marnage artificiel en piscine a ainsi été conçu pour accélérer la pénétration des chlorures et ainsi évaluer l'impact du procédé de nappe de coffrage sur ce processus de pénétration. L'expérimentation a duré 454 jours. Le système de marnage a permis d'accélérer le phénomène de pénétration des chlorures. Au terme de l'expérimentation, on a observé des concentrations en chlorures plus faibles dans l'enrobage des corps d'épreuves réalisés avec le procédé de nappe de coffrage drainante. L'étude montre aussi que l'utilisation d'un tel procédé a une influence sensible sur les indicateurs de durabilité et les témoins de durée de vie.

L'ensemble des résultats tendent à montrer que l'impact du procédé sur les propriétés du béton concerne l'enrobage sur une profondeur comprise entre 1 et 2 cm

### **EVALUATION OF THE GAIN OF DURABILITY PROVIDED BY THE USE OF A CONTROLLED PERMEABILITY FORMLINER FOR CONCRETE IN MARITIME SITE**

The purpose of a controlled permeability formliner is to improve the characteristics of concrete skin. In practice, the method is implemented on the shuttering prior to the pouring of concrete. By increasing the surface compactness of concrete within drainage of excess water, this process should improve the durability of reinforced concrete relative to the reinforcement corrosion. The use of such a process would therefore serve to increase the service life of reinforced concrete marine structures by improving the properties of concrete and slowing skin chloride penetration causing corrosion.

This study, conducted at the request of CETMEF, aims to qualify and quantify the gain of sustainability provided by the use of a controlled permeability formliner. It is based on the evaluation of durability indicators and monitoring parameters. The experiment is based on the achievement of characterization tests on the tests specimens made using a a controlled permeability formliner.

A device called a "accelerated aging" by cycle of artificial tidal in a pool has been designed to accelerate the penetration of chlorides and thus assess the impact of controlled permeability formliner in the process of chloride penetration. The experiment lasted 454 days. The tidal system has accelerated the phenomenon of chloride penetration. At the end of the

*experiment, we observed lower concentrations of chloride in the concrete cover of trials carried out with controlled permeability formliner. The study also shows that the use of such a process has a significant impact on durability indicators and monitoring parameters.*

*The overall results suggest that the impact of this process on the properties of concrete concern the concrete cover to a depth between 1 and 2 cm.*

## **TUNNELS DU PORT DE MIAMI**

Roger B. STORRY, Christopher FESQ, Yan TAIBI, Pierre PASCUAL, Louis BRAIS, Pascal DENIS, Philippe BOURDON

BOUYGUES Travaux Publics

Bouygues Travaux Publics réalise, pour le compte de l'État de Floride, la construction des deux premiers tunnels routiers de grand diamètre dans une zone bien connue pour la difficulté de sa géologie. Après avoir fait face à de fortes contraintes environnementales nécessitant l'obtention de plus de 40 permis différents, Bouygues Travaux Publics a mis en œuvre un ensemble de techniques innovantes pour les soutènements provisoires, les techniques de confortement des sols, le lancement du tunnelier, son retournement, et les modes de creusement du tunnelier. Ce projet a nécessité non seulement la mise en œuvre de béton spécifique respectant ainsi les critères de durabilité de 150 ans, mais aussi l'installation d'un double niveau de protection au feu; passive pour protéger la structure, active pour limiter le développement du feu et permettre l'accès des services de secours. Dans un contexte législatif et normatif bien spécifique, Bouygues-Travaux-Publics a, à bien des égards, réalisé un premier aux États-Unis en alliant à la structure une architecture originale signée d'un grand cabinet.

## **PORT OF MIAMI TUNNELS**

*Bouygues Travaux Publics has been appointed by the Florida Department of Transportation to design and build the first two large tunnels in the Biscayne Bay, an area well known for its particularly challenging ground conditions. After having dealt with more than 40 different environmental permits, Bouygues Travaux Publics implemented a panel of innovative techniques to overcome the various challenges of the Project, among which the lateral supports for the required deep excavations, the ground treatments necessary for the tunnel boring machine (TBM) operations, the launching and retrieval of the TBM and the TBM operations modes. In addition, the various specifications of the Project lead to develop a unique concrete mix to comply with the 150 years durability requirements, to install a passive fire protection system, and coordinate the tunnel systems and operations with the relevant authorities and emergency services in order to build and operate these tunnels in a safe and reliable environment. In the specific legal and normative context of the State of Florida, Bouygues Travaux Publics is currently completing a tunneling project, which, in many instances, represents a "one of a kind" and deserved a specific architectural treatment to emphasize Bouygues know-how.*

## **LA TOUR MAJUNGA À PARIS LA DÉFENSE**

Evelyne OSMANI

EIFFAGE Construction

La Tour Majunga, située dans le quartier d'affaires de Paris-La-Défense et conçue par l'architecte Jean-Paul Viguier pour le compte d'Unibail-Rodamco est un immeuble de bureaux de plus de 200 m de haut. Outre les spécificités architecturales et énergétiques du bâtiment, le chantier, lancé en janvier 2011,

comporte des particularités liées à l'incidence de l'exploitation de carrières au niveau du socle de la Tour, à la gestion des déplacements des avoisinants et de la cuvette de tassements du radier de fondation. La Tour Majunga se distingue essentiellement par sa conception structurelle et par le système de fondations adapté aux contraintes du projet.

## **THE MAJUNGA TOWER IN PARIS-LA DÉFENSE**

*The Majunga Tower, located in Paris-La Defense Business Centre and designed by architect Jean-Paul Viguier on behalf of Unibail-Rodamco is an office building more than 200 m high.*

*Besides the building architectural and energy specificities, the building site, started in January 2011, includes particular characteristics in relationship with the impact of exploited quarry mining at the level of the base course of the tower, with the management of surrounding buildings settlements and of the table settlement of the foundation raft of the tower. The Majunga tower mainly differs from usual construction with its structural design and with the foundation system adapted to the project requirements.*

## **TERMINAL GNL DE DUNKERQUE : CONCEPTION DES RÉSERVOIRS**

Louis MARRACCI, Brahim DJESSAS,

Anthony SCARAMOZZINO

BOUYGUES Travaux Publics

Le consortium composé d'Entrepose Projets et Bouygues Travaux Publics a remporté l'appel d'offres lancé par Dunkerque LNG, filiale d'EDF, pour concevoir et construire les trois réservoirs cryogéniques de stockage de GNL (gaz naturel liquéfié) du terminal méthanier de Dunkerque dans le nord de la France. Chacun des réservoirs a une capacité nette de 190.000 m<sup>3</sup>. Leurs principales dimensions sont un diamètre de 91 m et une hauteur de 50 m. Ils comptent parmi les plus grands réservoirs à intégrité totale au monde, constitués d'un réservoir interne en acier à 9 % de nickel qui contiendra le GNL à une température de -163 °C, grâce à un système d'isolation composé de perlite, fibre de verre, etc., et d'une structure de béton extérieure (voile en béton précontraint, radier et dôme en béton armé). Bouygues Travaux Publics construit les structures en béton et réalise l'amélioration des sols. La construction de la structure en béton a commencé au début de 2012 et est presque terminée à ce jour. Un tel projet permet d'aborder des enjeux structurels majeurs tels que la géotechnique, le séisme ainsi que l'étude de situations accidentelle très spécifiques.

## **DUNKERQUE LNG TERMINAL : TANKS DESIGN**

*The consortium composed of Entrepose Projets and Bouygues Travaux Publics has won a tender held by Dunkerque LNG, subsidiary of EDF, to design and build the three cryogenic LNG (liquefied natural gas) storage tanks of methane terminal of Dunkerque (Dunkirk) in Northern France. Each of the tanks has a working capacity of 190.000 m<sup>3</sup>. Their main dimensions are 91 m in diameter and 50 m height. They are among the largest "full containment tanks" built in the world, composed of an internal 9% Nickel steel inner tank which will contain the LNG at a temperature of -163°C, thanks to an insulation system composed of perlite, foamglas, fiberglass, etc..., and of an outer concrete structure (prestressed wall, reinforced dome and raft). Bouygues Travaux Publics builds the concrete structures and carry out the soil improvement. Construction of the concrete structure started at the beginning of 2012 and is almost completed at this time. Such project allows dealing with major structural design issues such as the geotechnical engineering, seismic analysis and as well the analysis of very specific accidental situations.*

## LES VIADUCS DU PROJET GAUTRAIN

Valéry PREMAUD, Louis MARRACCI  
BOUYGUES Travaux Publics

Le projet Gautrain est un des plus importants projets jamais réalisé par Bouygues Travaux Publics. Il s'agit de développer, concevoir et construire, exploiter et maintenir un système de transport rapide de 77 km. Sur les 77 kilomètres de ligne que compte le projet Gautrain, une place particulière est faite aux viaducs avec pas moins de 13 ouvrages. Ils se décomposent ainsi :

- 2 viaducs à poutres précontraintes,
- 2 viaducs construits selon la méthode des encorbellements successifs avec voussoirs coulés en place,
- 9 viaducs réalisés avec des voussoirs préfabriqués,

Les tabliers comportent deux voies ferroviaires pour accueillir le futur train Electrostar. Les longueurs des ouvrages vont de 174 m (Viaduc 02) à 3278 m (Viaduc 5c). La longueur cumulée de tous les viaducs est d'environ 10 km. Les 2 Viaducs V5b (John Vorster) et V5d (Jean Avenue), coulés en place assurent le franchissement avec un très fort biais de 2 importantes autoroutes assurant la liaison entre Johannesburg et Pretoria. Les plus grandes travées de ces 2 ouvrages sont de 110 m (John Vorster) et 121 m (Jean Avenue).

### GAUTRAIN PROJECT VIADUCTS

*The Gautrain Rail project is one of the most important projects ever developed and built by Bouygues Travaux Publics. It consists of developing, designing, constructing, operating and maintaining a 77km long railway line. On the 77 km Gautrain project tracks, particular emphasis is given to the viaducts with no less than 13 viaducts:*

- 2 viaducts with prestressed beams
- 2 cast in situ concrete balanced cantilever viaducts
- 9 precast segments viaducts

*Decks have two railways for the future train Electrostar. The lengths of these viaducts range from 174 m (Viaduct 02) to 3278 m (Viaduct 5c). The total length of all viaducts is about 10 km.*

*The 2 cast in situ concrete balanced cantilever viaducts V5b (John Vorster) and V5d (Jean Avenue) ensure the crossing of two major highways between Johannesburg and Pretoria with a strong skew angle. The largest spans of these two bridges are 110 m (John Vorster) and 121 m (Jean Avenue).*

## UN PONT EXTRADOSSÉ EN BÉTON PRÉCONTRAIT : LE PONT DE KEONG AN (CORÉE)

Serge MONTENS, Mohamed AKRAA  
SYSTRA

En 2001, SYSTRA a collaboré avec l'entreprise Hyundai (HDEC) et le bureau d'étude Dong Il Engineering pour la réponse à un appel d'offres conception-construction pour l'autoroute Songnam-Janghowon en Corée. Le pont principal sur cette autoroute est le pont de Keong An. Ce pont a trois travées: 70 – 130 – 70 m. Le tablier a 30 m de largeur. Il supporte trois voies dans chaque direction. Pour des raisons esthétiques, une nappe centrale a été choisie pour les câbles extradossés. Du fait de la travée modérée (130 m), il n'est pas nécessaire de donner une épaisseur variable au tablier. Le tablier est ainsi plus facile à construire. Le tablier est précontraint longitudinalement par :

- des câbles de fléau intérieurs placés dans le hourdis supérieur (12T15),

- des câbles éclisses intérieurs placés dans le hourdis inférieur dans la travée centrale (12T15),
- des câbles de continuité extérieurs dans les travées centrale et latérales (19T15), qui sont ancrés près des bossages d'ancrage des câbles extradossés.

Les câbles de précontrainte extérieure sont déviés par des diaphragmes. Il y a sept câbles extradossés de part et d'autre des pylônes, espacés de 5 m au niveau du tablier, en configuration de semi-éventail, déviés sur les pylônes par des selles. Des selles ont été utilisées à la place de doubles ancrages dans les pylônes, car c'est plus économique, et cela permet de réaliser des pylônes plus minces. Les câbles extradossés sont réglables (leur tension peut être modifiée durant la vie de la structure) et remplaçables. Les forces non équilibrées de part et d'autre du pylône sont transmises au pylône par l'intermédiaire d'anneaux en acier soudés aux tubes métalliques intérieurs. Les piles principales sont constituées par un fût central cylindrique de 5 m de diamètre à la base, deux fûts latéraux inclinés transversalement, et une traverse supérieure. La traverse supérieure est précontrainte par 8 câbles 19T15. La construction du pont s'est terminée en 2013.

### AN EXTRADOSED PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE: KEONG AN BRIDGE (KOREA)

*In 2001, SYSTRA worked with Hyundai Engineering & Construction Co. (HDEC) and Dong-Il Engineering company, in order to answer a turnkey design and construction competition for the Songnam-Janghowon highway project in Korea. The main bridge on this highway is the Keong An bridge. SYSTRA designed an extradosed prestressed concrete bridge to cross the river. This bridge has three spans: 70 – 130 – 70 m. The deck is 30 m wide. It carries three lanes in both directions. A central plane was chosen for the extradosed cables, for aesthetic reasons. Due to the moderate span (130 m), it is not necessary to have variable depth for the deck. The deck is then easier to build. The deck is longitudinally prestressed by:*

- cantilever internal tendons placed in the top slab (12T15),
- continuity internal tendons placed in the bottom slab in the central span (12T15),
- continuity external tendons placed in the main and side spans (19T15), which are anchored next to the extradosed cables concrete anchorage blocks.

*External prestressing cables are deviated by diaphragms. There are seven extradosed cables on both sides of the pylon, spaced 5 m at deck level in a semi-fan configuration, and deviated in the pylons through steel saddles. Saddles have been used instead of double anchorages in the pylons, because it is more economical, and it allows designing a more slender pylon. The extradosed cables are adjustable (their tension can be adjusted during service life) and replaceable. Unbalanced extradosed cables forces on both sides of the pylon are transmitted to the pylon through steel rings welded to the internal steel pipes.*

*Main piers are made of a central circular shaft, 5 m diameter at the base, two transverse inclined shafts and a pier cap. The pier cap is prestressed with 8 x 19T15 tendons. The bridge construction was finished in 2013.*

### PONT-PASSERELLE DU MONT-SAINT-MICHEL : RÉALISATION D'UN PONT SEMI-INTÉGRAL DANS UN CADRE D'EXCEPTION

Andreas KEIL, Michael ZIMMERMANN,  
Pierre-Yves OLLIVIER  
SCHLAICH BERGERMANN UND PARTNER

Un pont-passerelle d'environ 750 m est en cours de construction dans la baie du Mont-Saint-Michel pour relier la « Merveille » au



continent. Cet ouvrage fait partie de la vaste opération visant à rétablir le caractère maritime et insulaire du Mont-Saint-Michel, l'un des sites touristiques les plus visités en France. Afin de satisfaire aux différentes contraintes du site, le groupement de maîtrise d'œuvre Dietmar Feichtinger Architectes / Schlaich Bergermann und Partner a proposé un pont semi-intégral mettant en avant les nombreux atouts du matériau béton pour sa réalisation :

- des fondations profondes en béton dans lesquelles viennent s'encastrent, à 7 m sous le niveau du terrain naturel, des poteaux métalliques, et ce, sans réalisation de fouilles.
- un encastrement du tablier mixte dans les culées en béton
- une solution efficace de préfabrication-clavetage pour la partie béton du tablier

L'article s'attachera à :

- décrire les contraintes du site déterminantes pour l'élaboration du concept structural global
- décrire les atouts du matériau béton mis en avant dans la conception de ce pont
- illustrer l'exécution des éléments béton de l'ouvrage.

### **JETTY TO MONT-SAINT-MICHEL: CONSTRUCTION OF A SEMI-INTEGRAL BRIDGE IN A EXCEPTIONAL SITE**

*A 750 m long jetty is being built in the Bay of Mont Saint Michel to link the Wonder to earth. This bridge is part of the vast restoring operation of the Mont Saint Michel's maritime character, one of the most visited sites in France. To fulfil all the requirements of the site, the team of Dietmar Feichtinger Architectes and schlaich bergermann und partner proposed a semi-integral bridge that takes advantage of the concrete properties for its construction:*

- *deep foundations in which steel columns are built-in, 7 m below the ground level, without any excavation*
- *a built-in connection between the bridge deck and the abutments*
- *an efficient prefabricating and keying-in system for the concrete of the bridge deck*

*The article deals with:*

- *The description of the constraints of the site that have led to the global structural concept*
- *The description of the advantages of using concrete for the design of this bridge*
- *The illustration of the elements in concrete of the bridge*

### **LE MYSTÈRE DE LA PRÉCONTRAINTE BRUYANTE DE CERTAINS VIADUCS ANCIENS ENFIN PERCE !**

Pierre TROUILLET, John DUMOULIN, Pierre BARRAS, Dominique COCHET, Angel BARREU, Laurent FRITZ, Pierre ROENELLE, Michel DAUVILLIERS  
CEREMA

Lors de l'inspection de plusieurs viaducs autoroutiers anciens il est possible d'entendre des craquements au droit d'ancrage de précontrainte lors du passage de véhicules. Les coordonnées d'un site Internet donnant des échantillons de ce phénomène rare sont données. Ces ouvrages sont tous dotés du même système de précontrainte.

Différents essais cognitifs ont été réalisés en laboratoire ainsi que sur différents viaducs pour comprendre l'origine des émissions acoustiques (gammagraphies, accélérométrie, mesures de déformations, mesures de déplacements, relevés acoustiques...). Certains essais ont été refaits 35 ans après. L'origine des bruits est maintenant localisée et leur cause comprise. Ils sont liés à une disposition constructive inappropriée. La fatigue des fils de précontrainte ne peut être exclue. Le renfort par précontrainte additionnelle nécessaire pour d'autres raisons conduit à supprimer durablement les émissions.

### **THE MYSTERY OF THE NOISE OF SOME OLD PRESTRESSED CONCRETE BRIDGES NOW CLEARED UP**

*During the inspection of different prestressed concrete motorway bridges, some cracks near the anchorage of prestressed units could be heard. An internet site gives samples of those rare noises which could be heard on a viaduct. Those bridges are all equipped with the same type of prestressed units. Various tests in laboratory but also on site, such as radioscopy, measurement of displacement, strains and accelerations, had been undertaken to understand the reasons and causes for such noises. Some of those tests have been undertaken 35 years after the first test. The source of the noises had now been localised and their causes are known. We noticed that as the strands could be submitted to fatigue, it has to be taking into consideration. The reinforcement of the viaducts by external cables (needed for other reasons too) leads to the long-term ending of the issue.*

### **CONTRIBUTION À L'ÉVALUATION D'OUVERTURE DES FISSURES DANS LES ÉLÉMENTS EN BÉTON ARMÉ**

M. SAAD, Y. BOUAFIA, M. S. KACHI  
Université Mouloud Mammeri, Laboratoire LaMoMS,  
Département de génie civil, BP 17, Tizi-Ouzou 15000,  
Algérie

A l'état limite de service (ELS), les éléments en béton armé sont vérifiés vis-à-vis de l'ouverture des fissures et des déformations limites. Dans cette étude, on utilise l'allure de la courbe adhérence-glissement entre l'acier et le béton proposée par le comité européen de béton pour estimer les ouvertures de fissures. Des relations couvrant les différentes phases de cette loi sont établies et des méthodes de calculs sont proposées. En fonction des caractéristiques des deux matériaux (acier et béton), les largeurs des fissures sont calculées pendant et après la phase de propagation.

### **CONTRIBUTION TO THE EVALUATION OF THE OPENING OF CRACKS IN CONCRETE ELEMENTS**

*At the serviceability limit state (SLS), the reinforced concrete elements are checked to the crack width and deformation limits. In this study, we use the shape of the curve-slip adhesion between steel and concrete proposed by the European Committee for Concrete to estimate the crack openings. Relations, covering the different phases of this law, are established and methods of computation are proposed. According to the characteristics of both materials (steel and concrete), crack widths are calculated during and after the propagation phase.*