

ANALYSE ET PRÉVENTION DES RISQUES

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INCENDIE EN TUNNEL : LA DÉMARCHÉ DE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES ET LES DIFFÉRENTES OPTIONS

Laetitia D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER,
Bérénice MOREAU, Catherine LARIVE

Conformément à l'instruction technique annexée à la circulaire 2000-63 remplacée depuis par la 2006-20, la mise en sécurité des tunnels routiers de plus de 300 mètres nécessite bien souvent la mise en place de protections passives sous forme de plaques rapportées ou de mortiers projetés. Ces revêtements permettent de garantir aux structures existantes un niveau de résistance au feu suffisant. Cette technique est employée pour les ouvrages existants mais peut l'être également pour les ouvrages neufs. Elle permet ainsi de ralentir l'échauffement du béton et celui des aciers, et de prévenir le risque d'écaillage des bétons. Cependant, dans le cas des ouvrages neufs, il est également possible et parfois plus pertinent, techniquement et économiquement, de mettre au point un béton « résistant » au feu, i.e. présentant un écaillage nul ou quasi-nul. En effet, les sollicitations thermiques utilisées pour le dimensionnement des structures de tunnels sous incendie sont particulièrement violentes et le risque d'écaillage des bétons sous sollicitation « hydro-carbone majorée » dite HCM, est envisagé quel que soit le type de béton.

Cet article propose, dans un premier temps, de faire un point sur les principes et les spécificités du dimensionnement au feu des structures de tunnel, ainsi que sur les outils disponibles. Dans un second temps, les différentes possibilités en matière de prise en compte du risque incendie en tunnel, qu'il s'agisse d'ouvrages existants ou d'ouvrages neufs, seront précisées. Les différentes solutions : mise en place de protections passives rapportées ou formulation de bétons résistants au feu seront présentées ainsi que les démarches à suivre dans chacun des cas.

ACCOUNTING FOR FIRE HAZARD IN TUNNEL: STRUCTURAL DESIGN AND THE VARIOUS OPTIONS

The technical instruction (IT) relating to safety measures in new road tunnels (design and operation) has been published as appendix 2 to the inter-ministry circular No. 2000-63 since replaced by the No. 2006-20. According to the IT, securing of road tunnels longer than 300 meters often requires passive protection (in the form of plates or spread mortars) in order to reach a sufficient level of fire resistance. This technique is used both for existing and new tunnel structures. It enables to limit the heating of steel and concrete, to prevent concrete from spalling, and hence to avoid the collapse of structures. However, for new tunnels, it is also possible and sometimes more effective, to develop a fire-resistant concrete, i.e. a non-spalling concrete. Indeed, the thermal load (the hydrocarbon increased curve or HCinc-curve) used for the design of tunnel structures under fire, is particularly violent and the concrete spalling risk has to be considered regardless of the type of concrete.

First, this article presents the principles of structural design under fire and the available tools. Second, the different

approaches to assess the fire resistance of existing and new tunnels are described. Finally, the various options: use of passive protections or design of a fire-resistant concrete are presented as well as what to do in each case.

LES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES OURAGANS À LA NOUVELLE ORLÉANS

Ir. P.T.M. DIRCKE, Ing. R.H. DOLFSMA

À la suite de la situation désastreuse créée par l'Ouragan Katrina à la Nouvelle Orléans en 2005, avec un coût des dégâts estimé à 108 Milliards de Dollars, le « US Corps of Engineers » a engagé un large programme de réhabilitation et de construction d'un ensemble d'ouvrages de protection afin de protéger la ville et son agglomération contre les risques liés aux ouragans, sur la base d'une période de retour de 100 ans.

Les travaux ont compris la réalisation de barrières sur les canaux de navigation intérieure, de murs, de digues, et de stations de pompage. D'une ampleur exceptionnelle, ils ont été menés en un temps record, en faisant appel à des techniques et à des méthodes de contractualisation innovantes.

Les ouvrages ont été livrés en 2012 et ont montré leur efficacité lors du passage de l'ouragan Isaac en juillet 2012.

THE HURRICANE FLOOD RISK REDUCTION SYSTEM IN NEW ORLEANS

Following Hurricane Katrina devastations in New Orleans area in 2005, with an estimated cost of 108 Billions US dollars, the US Corps of Engineers planned a huge rehabilitation and construction program to protect the city and its suburbs from risks associated to hurricane, on the basis of a 100 years return period.

The works included storm surge barriers across internal navigation channels, walls, dikes and pumping stations. Of an exceptional magnitude and complexity, they were completed in a record making time, and called for technical and contractual innovation.

The whole system was delivered in 2012, and perform efficiently against Hurricane Isaac in July 2012.

CONCEPTION, RÉSILIENCE ET ADAPTABILITÉ DES STRUCTURES

SOLUTION INNOVANTE POUR PONTS DE PETITES ET MOYENNES PORTÉES : POUTRE PRÉCO AVEC CONNEXION PAR DÉCOUPE

Riccardo ZANON, Jacques BERTHELLEMY,
Pierre-Olivier MARTIN, Günter SEIDL

Dans le cadre des projets européens entamés depuis 2003, un nouveau concept structurel a été développé : Poutre Préco - Préfabriquée mixte servant de Coffrage. Un T découpé au milieu de l'âme d'un profilé d'acier en H est par exemple mis en œuvre dans la membrure inférieure d'une poutre en béton. Ce T peut aussi être obtenu en assemblant des tôles soudées. La membrure

supérieure de la poutre reste en béton armé préfabriqué. La géométrie particulière de la découpe qui pénètre dans le béton armé assure la connexion. La forme de la découpe a été testée à l'état limite de service, et aux états limites de résistance et de fatigue en vue d'une application dans le domaine des ponts. Ce concept s'est avéré très compétitif pour les petits ponts. Différentes solutions sont présentées : réalisées au cours des dernières années dans plusieurs pays européens, elles démontrent l'intérêt du procédé.

NEW ECONOMIC CONNECTION SYSTEM AND ITS APPLICATION FOR SMALL BRIDGES WITH PREFABRICATED COMPOSITE LONGITUDINAL ELEMENTS

In the scope of various European projects starting from 2003 a new structural concept has been developed : Precobeam – Prefabricated composite beam that can be used as formwork. In the cross-section the lower T is for instance obtained either by oxy-cutting in the middle of the web of H-rolled profile, or by welded plates, whereas the upper T is in prefabricated reinforced concrete. The connection between the two materials is achieved by penetrating of the two Tees, where the special shape of the cutting realizes the shear connection. The shape of the cutting has been tested at ultimate, serviceability and fatigue limit states and validated in the scope of a bridge application. This concept aims at developing a competitive solution for small span bridges. The various solutions realized in the last years in many European countries, some of them presented in the paper, show clearly its interest.

LA CONCEPTION DES EOLIENNES EN BFUP

François-Xavier JAMMES, Xavier CESPEDES,
Jacques RESPLENDINO

Avec une puissance installée estimée à 240 GW début 2012, l'énergie éolienne poursuit désormais son développement sous la forme de fermes en haute mer composées de méga éoliennes (h>100m). Ces dernières permettent de tirer parti des meilleures conditions climatiques disponibles. Cela nécessite des structures massives soumises à des charges importantes dans des environnements complexes, ce qui rend la conception d'autant plus délicate lorsque l'on a recours à des matériaux traditionnels comme l'acier ou le béton armé

Apparus dans les années 1990, les Bétons Fibrés à Ultra-Haute Performance (BFUP) sont des matériaux à structure micrométrique présentant un fort dosage en ciment et en adjuvants, des granulats de faible dimension et une porosité réduite. Ils se distinguent des bétons classiques à hautes et très hautes performances par leur résistance en compression très élevée et par l'emploi systématique de fibres qui assurent la non fragilité du matériau et modifient le recours classique aux armatures passives. Le matériau se révèle très résistant lorsqu'il est soumis à des charges répétées et à des environnements agressifs (pénétration des ions chlorures, corrosion etc...). Associé à la précontrainte, le BFUP permet d'envisager des structures fiables dont la mise en œuvre est aisée. L'utilisation d'un BFUP pour la construction du mât, présentant des propriétés prometteuses en termes de fatigue et de corrosion, pourrait permettre une avancée majeure.

Ce projet initié au MIT et développé en étroite collaboration avec le département R&D de Setec tpi a pour objectif de révéler le BFUP comme un excellent substitut de l'acier pour la construction des mâts d'éoliennes offshore. Ce papier récapitule les résultats d'une étude de faisabilité comportant une justification de la structure et un procédé de construction innovant par préfabrication.

DESIGN OF WIND TURBINES WITH UHPC

With a worldwide capacity estimated at 240 GW in early 2012, wind energy currently pursues its development through offshore wind farms composed of huge wind turbines (height > 100m). They enable to take advantage of the best wind conditions available. However, it requires massive structures designed for heavy loads in complex environments, making the design difficult when using traditional materials such as steel or concrete.

Appearing in the 1990's, Ultra-High Performance Concretes (UHPC) are materials with a micrometric structure characterized by a high proportion of cement and adjuvants, and a very low porosity. They differ from traditional concretes through their high compressive strength and the use of fibers enabling a great resilience of the material. UHPC proves very resilient when facing repeated loads and harsh conditions (chloride ion penetration etc...). Associated with prestressing, UHPC enables to envision reliable structures whose construction is easy. The use of UHPC for the construction of the mast, revealing promising properties for fatigue and offshore conditions, could be a promising breakthrough.

This project initiated at MIT and developed in close collaboration with the R&D Department at Setec tpi intends to reveal UHPC as an excellent substitute for steel in the construction of the offshore wind turbine towers. This paper summarizes the results of a feasibility study introducing a justification of the structure and an innovative construction process relying on prefabrication.

FRANCHISSEMENT SANS APPUI INTERMÉDIAIRE DES AUTOROUTES EN SERVICE

Jacques BERTHELLEMY, David SCHAVITS

Le programme de recherche européen SBRI a mis en évidence les risques et les nuisances liés à la présence d'une pile centrale pour le franchissement d'une autoroute. Le SÉTRA a développé deux solutions économiques pour atteindre l'objectif d'éviter la pile centrale.

La solution mise en œuvre à Ko Wé Kara en Nouvelle-Calédonie est l'arc autoancré métalliques avec des dispositions constructives innovantes et économiques.

Un autre solution possible est le portique en ossature mixte acier-béton. Le programme de recherche européen PRECOBEAM a permis de réaliser des projets pilotes et mettre au point un nouveau système de connexion qui abaisse le coût de ce type de structure. Plusieurs projets exemplaires, tant en Nouvelle-Calédonie qu'en Europe sont décrits en détails. Ce type de pont fait partie des ponts intégrés et l'article délivre des recommandations pour la conception et la réalisation de ce type de pont.

CROSSING MOTORWAYS WITHOUT INTERMEDIATE PIER

The European research program SBRI highlighted the risks and the nuisances bound to the presence of a central pier for the crossing of a highway. The SÉTRA developed two economic solutions to reach the goal to avoid the central pier.

The implemented solution to Ko Wé Kara in New Caledonia is a steel tied-arch bridge with innovative and economic details.

One other possible solution is the composite steel-concrete gantry bridge. The European research program PRECOBEAM allowed to realize experimental projects and to finalize a new system of connection allowing to lower the cost of this type of structure. Several outstanding projects of this type, both in New

Caledonia and in Europe are described in detail. Of course this type of bridge is an integral bridge and the article delivers recommendations for the design and the realization of integral bridges.

LA DOUBLE ACTION MIXTE POUR L'OPTIMISATION DES PONTS BIPOUTRES MIXTES

Michel TRIQUET, Simon GELEZ, Patrice SCHMITT,
Ziad HAJAR, Claude SERVANT, Eric GUYOT

La construction des lignes à grande vitesse en France a vu le bipoutre mixte s'imposer comme le champion économique incontesté du franchissement de moyenne portée. Au fur et à mesure des années, différentes améliorations ont été portées à la conception d'origine. La principale évolution de la conception porte sur le contreventement inférieur de ce type de tablier.

Les contreventements métalliques traditionnels ont été remplacés progressivement au début des années 2000 par des éléments de hourdis inférieurs en béton armé, préfabriqués et discontinus et connectés à la partie inférieure des poutres. Le rôle de ces éléments était d'améliorer le comportement en torsion (effet caisson) et la réponse dynamique de l'ouvrage (augmentation de la masse).

Aujourd'hui, la SNCF, Eiffage TP et Eiffage CM, dans le cadre de la LGV Bretagne Pays de Loire, étudient une amélioration du système : le hourdis inférieur est rendu continu sur les zones sur appui intermédiaire pour exploiter au maximum la mixité de la structure.

Cette solution est couplée à une nouvelle conception compatible des cadres transversaux du tablier, qui autorise également le passage sans démontage des outils de coffrage glissants du hourdis supérieur, ce qui permet des gains sur le temps de coulage de la dalle du tablier.

Les gains de matière sont significatifs dans les zones d'appui (où auparavant, seules les poutres permettaient la reprise des sollicitations). Aujourd'hui, la prise en compte du béton du hourdis inférieur dans la flexion longitudinale réduit les quantités d'acier de structure à mettre en œuvre sur ces zones d'appui et augmente la rigidité de la structure, pour un meilleur comportement dynamique général.

Cette étude, réalisée sur trois viaducs a également permis d'étudier les possibilités de réduction de la hauteur des tabliers, autorisant ainsi des franchissements moins contraints par le dégagement des gabarits sur les voies inférieures.

DOUBLE COMPOSITE ACTION TO OPTIMIZE TWO-GIRDER COMPOSITE BRIDGES

In France High Speed Lines construction, two-girder composite bridges have become established as the more economical solution as far as medium spans are concerned.

Year after year, improvements have been made to the original design. The main one relates to the design of the lower bracing. For the last ten years, traditional steel bracings have progressively been replaced by lower slabs made of precast concrete elements. These elements are discontinuous and are connected to the lower flanges of the main girders. They aim at improving the torsional behaviour and the dynamic answer of the bridge (by increasing its weight), as well as facilitating maintenance.

On the occasion of the construction of the High Speed Line Bretagne Pays de la Loire, SNCF, Eiffage TP and EIFFAGE CM worked on an improvement of the system : the lower slab is made continuous and thicker near the supports in order provide a

composite action. This improvement is associated with an optimization of the diaphragms in order to reduce steel quantities and to facilitate construction.

This solution has a considerable impact in the intermediary supports areas where the girders used to resist the bending moment by themselves. Taking into account the lower slab enables to use less steel in those areas and to increase the stiffness of the structure, thus improving again the dynamic behaviour.

This study, carried out on three viaducts, also gave the opportunity to reduce the thickness of the bridges. It's a great opportunity, especially when the clearance below the bridge is an issue.

GRAND STADE DE LILLE MÉTROPOLE – UNE COLLABORATION INNOVANTE ENTRE BÉTON ET MÉTAL

Stéphane DANDOY, Valérie BONIFACE,
Evelyne OSMANI

Le Grand Stade Lille Métropole (aujourd'hui Stade Pierre Mauroy) est le premier ouvrage sportif français conçu dès l'origine pour accueillir différents événements, sportifs ou culturels, grâce à deux dispositions uniques : un toit mobile acoustique et une pelouse partiellement rétractable. Sa capacité est de 50 000 spectateurs pour le mode Stade, de 28 000 pour le mode Arena.

Réalisé dans le cadre d'un partenariat public-privé, son délai de construction n'a été que de 28 mois. Pour y parvenir, les structures de génie civil et de charpente métallique ont été conçues pour assurer un assemblage rapide d'éléments préfabriqués, en recherchant les meilleures conditions de sécurité pour les opérateurs. Notamment, les poutres principales métalliques précontraintes ont été assemblées à plat puis redressées, et l'ensemble des parties mobiles avec leurs chemins de roulement (soit 7 200 tonnes) ont été assemblées à proximité du sol puis hissées de 30 mètres vers leur position finale.

Dans le même délai que les 250 000 m² de planchers de l'ouvrage, le plateau mobile de 4 400 tonnes et ses systèmes de levage et de translation ont fait l'objet d'un développement à l'instar d'une machine industrielle complexe, pour permettre d'assurer de façon répétitive le changement de configuration entre Stade et Arena. Le plateau est levé de 5 750 mm par 12 vérins synchronisés en 2 heures environ, puis après transfert des charges sur les systèmes de roulement, déplacé horizontalement de 65 mètres également en deux heures. Avec toutes les taches annexes (dont la mise en position des tribunes télescopiques avec 5 500 sièges et d'un rideau de 3 000 m²), il faut environ 24 heures pour changer la configuration. Le concert inaugural a été celui de Rihanna le 20 Juillet 2013.

GRAND STADE LILLE METROPOLE – AN INNOVATIVE COLLABORATION BETWEEN STEEL AND CONCRETE

The Pierre Mauroy Stadium is the first new French stadium designed from the beginning of the project to host all kinds of events, either sports (football, rugby but also tennis, basket ball) or cultural (great concerts and shows). It displays two unique dispositions : a mobile roof who is a real acoustic shield, and a movable part of the natural grass field. Its attendance is up to 50 000 persons in stadium mode, 28 000 in Arena mode.

Erected through a Public – Private Partnership, its construction times lasted only 28 month. To achieve this result, the concrete structures and the steel ones were designed as a dovetailing of

precast and prewelded elements, with a special care to the safety of operating people. For instance, the main girders (which are prestressed) were pinned flat near the floor then rotated vertically ; and the four mobile roofs along with their railways (7 200 metric tons) were elevated 30 meters high with cables and jacks.

In the same period of time than the erection of 250 000 m² of floors of the building, the mobile platform under the field (4 400 tons) has been designed like an industrial machine, in order to

allow a great number of change in the configurations from Stadium to Arena and backed. The platform is lifted on 5 750mm by twelve hydraulics jack in two hours, then the loads are shifted to rolling systems and the platform slides on 65 meters in two other hours. With ancillary tasks as stretching rolling stands with 5 500 seats or hoisting a 3 000 m² curtain, the complete change lasts about 24 hours. The first concert was given by Rihanna on July 20th, 2013.