



RECONSTRUCTION DU PONT DU TRIANGLE À DUNKERQUE : EXEMPLE D'EFFICACITÉ POUR LES OUVRAGES D'ART COURANTS

RECONSTRUCTION OF THE BRIDGE OF THE TRIANGLE IN DUNKIRK: EXAMPLE OF EFFICIENCY FOR THE COMMON WORKS OF ENGINEERING

Riccardo ZANON⁽¹⁾, Cédric PULVERIN⁽¹⁾, Fabrizio PAOLACCI⁽²⁾

⁽¹⁾ArcelorMittal Europe – Eurostructures Beam Finishing Centre

⁽²⁾Assistant Professor in Structural Engineering – UniRomaTre

1. INTRODUCTION

Une nouvelle technique démontrant tous les avantages de la construction mixte acier-béton a été développée pour la réalisation des passages supérieurs sur l'A13 au Luxembourg au début des années 2000. Cette technique prévoit l'assemblage en caisson de deux profilés H de Differdange en acier à haute limite d'élasticité, avec une connexion de continuité en vue longitudinale via chevêtre en béton armé. Dans les années qui ont suivi, cette technique a été utilisée avec succès à l'étranger : un exemple réussi est présenté dans cet article.

2. DESCRIPTION DES PHASES DE RÉALISATION

2.1. Réaménagement d'une zone urbaine : l'esthétique de l'acier

La communauté urbaine de Dunkerque a opéré le réaménagement de la route de Saint-Pol-sur-Mer à Fort-Mardyck, prévoyant un ouvrage d'art intéressant ainsi que différents travaux de terrassement et de voirie. L'opération s'inscrit dans



Figure 1 : Pont du Triangle à Dunkerque (France) – Vue d’ensemble.

un environnement naturel aménagé en espace-vert public, entre les deux zones urbaines de Saint-Pol-sur-Mer à l’Est et Fort-Mardyck à l’Ouest.

Le précédent ouvrage en béton armé avait été construit en 1977, puis démoli en mars 2011 pour des raisons de sécurité, à la suite d’une avarie d’un de ses appuis. La nouvelle construction va se substituer à l’ancien pont et à la passerelle pour piétons et cyclistes. La structure de l’ancienne passerelle, bruyante, laissera la place à une dalle de béton étanchéifiée recouverte d’un enrobé avec un traitement phonique. L’ancien ouvrage, avec

une conception massive en béton armé précontraint et un aspect surannée, était associé à une perception sombre de la zone.

Le nouvel ouvrage constitue un des principaux axes de liaison dans la communauté urbaine de Dunkerque permettant de rétablir la liaison de transport en commun (quatre lignes), dont la suppression avait entraîné des dysfonctionnements sur le trafic urbain. La volonté de l’Architecte et du Maître d’Oeuvre de marquer l’intervention avec une requalification positive de la zone concernée a porté au choix du métal en raison de son efficacité ainsi que de ses qualités esthétiques et économiques.



Figure 2 : Vue de l’ancien ouvrage (gauche) et phase démolition (droite).





Figure 3 : Détails de la corniche, du garde-corps et des candélabres.

Le tablier est réalisé avec une structure mixte-acier béton avec poutraison sous voie en teinte noir foncé, positionnée en retrait par rapport au bord externe. La corniche en forme d'aile de mouette, oiseau typique du Pas de Calais, continue son élan avec la forme ouverte du garde-corps. Cet ensemble clair met en évidence la légèreté et l'élancement du tablier. Pour compléter l'équipement les candélabres, formant un trait foncé détaché de la structure, se penchent de façon harmonieuse vers l'utilisateur de l'ouvrage. Le choix du concepteur apparaît tout à fait réussi. Cet ouvrage franchit avec élan la brèche en donnant une plus-value élégante mais discrète à l'environnement.

2.2. Les contraintes du franchisement et la géométrie de l'ouvrage

Les obstacles à franchir sont une ligne de chemin de fer à deux voies ainsi que l'ancien canal de Mardyck. Le nouvel ouvrage est rectiligne, avec une longueur totale de 116m. L'ouvrage

prévoit un rayon vertical de 600m pour dégager un gabarit ferroviaire de 6.5m et se raccorder aisément avec les rampes d'accès. Le tablier d'une largeur totale de 13.3m porte une double voie de circulation routière, un trottoir pour les piétons et une piste cyclable de part et d'autre de la chaussée.

L'élancement de l'ouvrage (rapport : longueur de la travée sur hauteur du tablier) de l'ordre de 35 est très important et imposé par le nouveau gabarit ferroviaire à respecter, de 1m plus haut du précédent pour des raisons de sécurité. Cette contrainte impose des systèmes structurels très performants : le tablier avec charpente métallique s'avère être la solution la plus adaptée. L'ouvrage construit est une variante à la solution de base élaborée par l'Entreprise Mandataire du marché en collaboration avec le fournisseur de la charpente métallique. Au niveau de l'implantation, la variante propose un allongement de la travée de rive côté Saint-Pol-sur-Mer (de 25m initial à 28m) pour optimiser du point de vue géotechnique et esthétique la culée. Piles et culées sont de type classique avec voiles en béton armé à parement soigné sur fondation profonde.

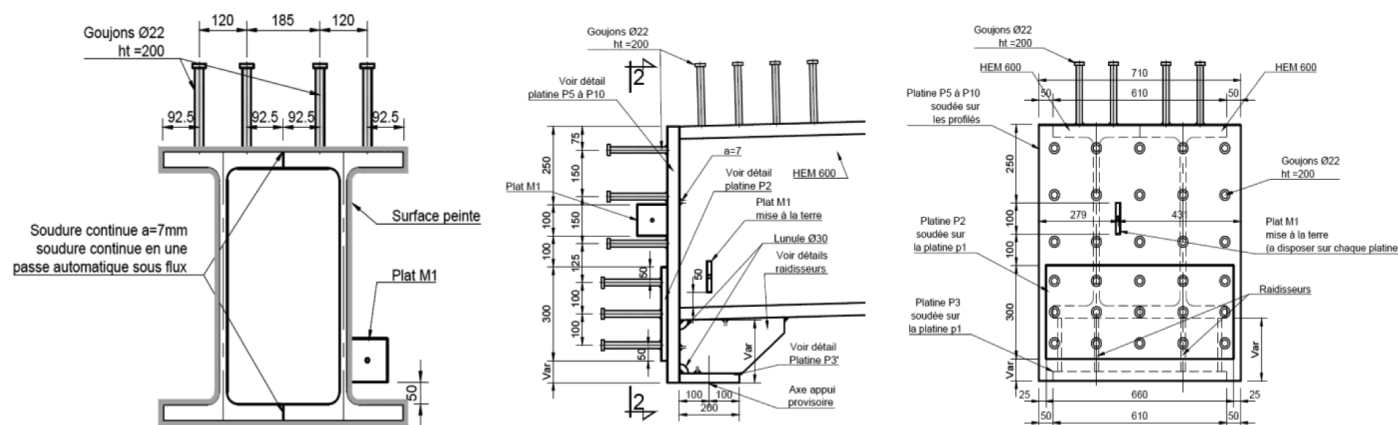


Figure 4 : Détails de fabrication de caissons métalliques et de la connexion avec les chevêtres b.a.



Figure 5 : Parachèvement de la charpente métallique : cintrage, assemblage des caissons, habillage.

La coupe transversale courante prévoit quatre poutres métalliques (entraxe 3.6m) en forme de caisson fermée. Grâce à la rigidité torsionnelle de ces éléments, il est possible d'éviter toute entretoise intermédiaire en travée, simplifiant le système structurel. L'hourdis est constitué par des dalles préfabriquées à toute épaisseur qui ont la même largeur que le tablier. En correspondances des culées et des piles intermédiaires les poutres sont reliées par des chevêtres en béton armé. L'implantation des fondations reste similaire à celle de la solution de base.

2.3. Le choix optimal de la charpente métallique

Les poutres maîtresses sont assemblées à partir de deux profilés du commerce HEM/HEB600 laminés de la longueur de la travée, soit pour notre cas environ 32m. Les caissons sont formés par soudage longitudinal des bords des ailes avec un cordon continu de 7mm de profondeur apparente. Auparavant les profilés ont été cintrés à froid avec une presse hydraulique pour réaliser le profil longitudinal du projet, en gardant des tolérances spéciales (sur la travée principale de 32m la contre-flèche donnée est 400mm).

L'utilisation d'acier à haute limite d'élasticité thermomécanique (S460M) est économiquement avantageux pour ce type de produit [4]. Elle permet de réduire le poids structurel avec

une faible augmentation du prix unitaire, et donc un gain global sur l'achat. Cette nuance présente un taux de carbone équivalent très faible et elle a pu être soudée aisément sans besoin de préchauffage.

La forme en caisson de la section transversale permet de s'affranchir de tous les problèmes d'instabilité flexo-torsionnelle (notamment sur les piles intermédiaires où le moment fléchissant est négatif) et donc d'utiliser au mieux les propriétés de l'acier.

2.4. Garantie de haute durabilité

Le choix des poutres à caisson, rendues étanches par les plaques d'about soudées, nécessitant aucune entretoise intermédiaire permet une forte réduction de la surface métallique exposée à la corrosion. Le rapport entre la surface métallique de structure exposée et la surface du tablier est de 0.71, donc beaucoup plus proche du tablier à poutrelles enrobées (rapport 0.4... 0.7) que du tablier métallique traditionnel bipoutres ou multipoutres (rapport dans la gamme 1.0 – 2.0 pour des portées similaires). Les poutres se trouvent en position protégée en dessous de l'hourdis ainsi aucune agression majeure est à prévoir par l'environnement. L'application d'un système de peinture anticorrosion à haute durabilité certifié ACQPA permet de garantir la pérennité de l'ouvrage sans interventions de maintenance avant plusieurs dizaines d'années.



Figure 6 : La charpente métallique après application de la protection anti-corrosion.





Figure 7 : Pose de la charpente métallique en phase provisoire.

2.5. Sur chantier : rapidité et simplicité

Cette technologie se caractérise par une rapidité extrême sur chantier. La préfabrication de tous les éléments formant le tablier (charpente métallique et dalles préfabriquées) se fait en temps masqué pendant la préparation des fondations. Le poids des éléments reste inférieur à 20 tonnes, le besoin des capacités de levage reste donc très raisonnable. Les sabots métalliques

prévus sont étudiés pour le support sur des lattes en bois provisoires compatibles avec le coffrage des chevêtres en béton armé. Sur les dalles préfabriquées il est possible de fixer les garde-corps provisoires de chantier avant la pose. Les poutres caissons assurent une grande stabilité qui permet d'éviter entretoises ou butons provisoires. La technique des chevêtres en béton armé, décrite en détail dans le paragraphe suivant, simplifie ultérieurement la phase de chantier.

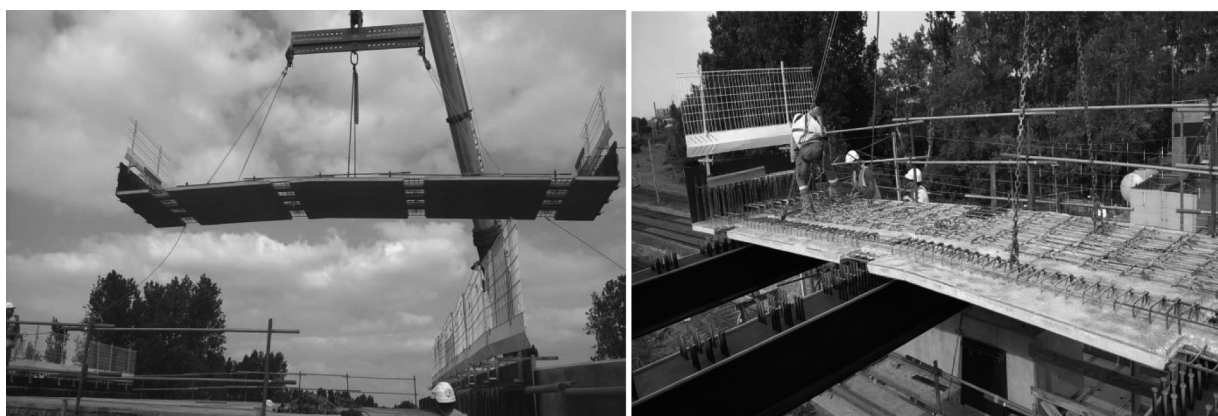


Figure 8 : Pose des éléments préfabriqués pour l'hourdis en b.a. sur les poutres métalliques.



Figure 9 : Détails de la liaison de continuité par chevêtre en b.a.



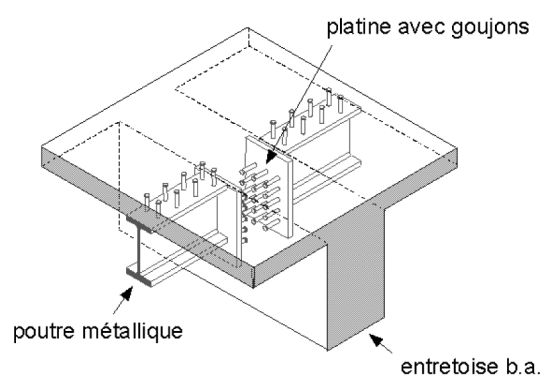


Figure 10 : Principe du fonctionnement des chevêtre en b.a. (gauche) et essai expérimental (droite).

3. CONTINUITÉ DES POUTRES MÉTALLIQUES SUR CHEVÊTRE EN BÉTON ARMÉ

Pour les ouvrages à travées multiples il s'avère toujours nécessaire de rabouter les poutres principales entre elles. Les solutions classiques d'éclissages boulonnés ou de joints soudés sont alors possibles et sont utilisées dans de nombreux cas. Néanmoins dans le but de réduire ces travaux de raboutage, qui doivent être réalisés sur site et peuvent s'avérer contraignants pour les chantiers de taille modeste, la technique des chevêtres en béton armé a été développée pour rabouter les poutres principales sur les piles intermédiaires.

Cette solution a fait l'objet de plusieurs programmes de recherche, aussi bien théorique qu'expérimentale, ce qui a permis d'en valider le comportement sous charges statiques et de fatigue. Le projet Mikti [3] a démontré la faisabilité et proposé la méthode pour une vérification détaillée. Une entretoise est constituée par une poutre en béton armé de section rectangulaire, ayant une largeur d'environ 90 à 150 cm et une hauteur égale ou supérieure à celle des poutrelles métalliques assemblées. Son principe de fonctionnement est simple et efficace (voir Fig. 10). Le moment de flexion, négatif sur l'appui, est décomposé comme un couple de forces, la compression en partie inférieure passant directement par contact (soit semelle inférieure contre semelle inférieure, soit par l'intermédiaire du béton dans le cas de deux plaques d'abouts), la traction étant complètement reprise par



Figure 11 : Vue de l'ouvrage dans son contexte environnemental.





les armatures (qui doivent alors localement être renforcées au droit de l'entretoise, puisqu'elles reprennent un supplément de traction qui n'est plus transmis par les semelles supérieures des profilés).

L'effort tranchant est transmis soit par l'âme des profilés incorporée dans l'entretoise, soit par des goujons soudés sur la plaque de tête. Cette dernière option a été retenue pour l'ouvrage étudié.

4. CONCLUSION

L'article présente un ouvrage avec une technique évolutive par rapport à la technique traditionnelle des tabliers mixtes acier-béton. Dans les domaines des ouvrages d'art courants, cette solution est une option à considérer dans cette typologie d'ouvrage où esthétisme, efficacité et économie sont les maîtres mots. Tous les acteurs ayant participé à la réussite de ce projet sont remerciés.

Principaux intervenants – Génie Civil

Maîtrise d'ouvrage : Dunkerque Grand Littoral

Maîtrise d'œuvre : Ingérop Conseils & Ingénierie, Agence Noyon

Entreprise mandataire des Travaux : Eiffage TP Etudes d'exécution : BIEP

Fournisseur de la charpente métallique : ArcelorMittal
EuroStructures Beam Finishing Center

Quantités

Béton pour les fondations et les appuis : env. 925 m³

Béton pour le tablier : env. 510 m³

Armatures : env. 195 tonnes

Charpente métallique : env. 260 tonnes

Chantier : Janvier 2015 – Avril 2016

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. Brazillier, G. Fontaine, *Un nouveau domaine d'emploi pour les ponts mixtes : Les petits ouvrages*, Bulletin Ponts Métalliques N°13, 1989.
- [2] M. Hever, F. Gluzicki, *Poutres en acier avec joints en béton*, BTP Grands Travaux N°158, 2002.
- [3] Chabrolin B., Kretz T., Laravoire J. *Projet national MIKTI - Ponts Mixtes Acier-béton*, 2010.
- [4] R. Zanon J.-P. Jacqueton, S. Lalanne, S. Debalme, X. Boyenval, Y. Lacombe, I.-A. Nader, *Elargissement du Pont René Coty à Nice*, Bulletin Ponts Métalliques N°26, 2013.