

solutions

Construire des ponts sans gêner le trafic

>>> LES GESTES TECHNIQUES AUDACIEUX N'ONT PLUS DE SECRETS

POUR LES LECTEURS DE *CONSTRUCTION MODERNE*. LES EXEMPLES DE

CHANTIERS MENÉS DANS DES CONDITIONS DIFFICILES ET/OU DES DÉLAIS

RECORD Y SONT NOMBREUX. MAIS IL EST DES MAÎTRES D'OUVRAGE POUR

LESQUELS LE DÉFI EST UNE OBLIGATION PERMANENTE. C'EST LE CAS

DE RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE, TRÈS SENSIBLE AUX TECHNIQUES PERMETTANT

UNE RÉALISATION RAPIDE DES OUVRAGES, AVEC UNE PERTURBATION

MINIMALE DU TRAFIC, CELUI DE LA VOIE FERRÉE ELLE-MÊME... OU CELUI

DE L'AXE QU'ELLE FRANCHIT. POUR AUTANT, LES SOLUTIONS DE MISE

EN PLACE RAPIDE SONT POTENTIELLEMENT UTILISABLES POUR

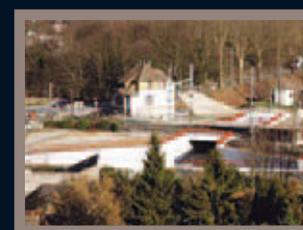
DE NOMBREUX OUVRAGES ET SONT DONC PROMISES À UN BEL AVENIR.



→ Rouen

Un pont-rail mis en place par autoripage

p. 22



→ Saint-Pierre-du-Vauvray

Un petit pont "flotté"

p. 23



→ Oise

Deux demi-tabliers mis en place par poussage

p. 23



→ Puget-Théniers

Mise en place par rotation pour un pont-route sur le Var

p. 24

→ Des enjeux à la fois techniques et économiques

PRINCIPAL PRESCRIPTEUR DES MÉTHODES DE MISE EN ŒUVRE RAPIDE DES OUVRAGES D'ART, LE MAÎTRE D'OUVRAGE RFF VISE AVANT TOUT LA CONTINUITÉ DU TRAFIC POUR L'EXPLOITANT DU RÉSEAU, LA SNCF. MAIS D'AUTRES MAÎTRES D'OUVRAGE PEUVENT SE MONTRER SENSIBLES AUX CHARMES DE LA VITESSE... D'EXÉCUTION.

Un pont mis en place en un week-end... Réseau Ferré de France (RFF), l'entité en charge de l'infrastructure ferroviaire française, est l'un des maîtres d'ouvrage les plus attentifs aux solutions de mise en œuvre rapide des ouvrages d'art. Dans le cas du réseau ferré, en effet, les interventions ont des conséquences particulièrement sévères, à plusieurs niveaux. Fréquence des trains oblige, on ne condamne pas facilement les voies, et le basculement d'une voie sur une autre pose d'évidents problèmes d'appareillage (disposition des aiguillages et amont et en aval de la déviation, longueur du tronçon parcouru à contresens), de sécurité pour les trains (passage en "voie unique", res-

pect des rayons de courbure, planéité scrupuleuse des rails) et pour le personnel présent sur le chantier, de continuité du trafic et de moindre gêne pour l'usager, mais aussi, bien sûr, d'économie.

Concernant les opérations liées à la maintenance, l'enjeu est double. D'une part, interrompre la circulation pendant quelques mois oblige à mettre en place un service de remplacement par cars, avec à la clé le mécontentement assuré de l'usager. D'autre part, c'est une importante perte en revenus d'exploitation qui vient s'ajouter au coût global de l'ouvrage, si les travaux durent trop longtemps. Les contraintes sont donc très lourdes, et le gain économique d'une remise en service très rapide des voies se justifie pleinement. D'autant que pour couper la voie, planning oblige, il faut s'y prendre 12 à 18 mois à l'avance... *"On connaît déjà le week-end de mise en place de l'ouvrage dès la publication de l'appel d'offres, explique Gérard Lebailly, expert technique auprès de RFF. L'entreprise sait qu'elle devra composer avec cette fenêtre fixe du calendrier quoi qu'il arrive."*

Les lignes à grande vitesse d'abord

Mais la mise en place rapide des ouvrages ferroviaires concerne d'abord les travaux neufs. Actuellement en chantier, la LGV Est européenne représente à elle seule

quelque 300 km de ligne à réaliser en deux saisons sèches pour les lots de terrassement. Ce qui laisse peu de temps pour la réalisation et la mise en place des ouvrages. *"Un ouvrage d'art courant, c'est 12 à 18 mois de travaux quelle que soit sa longueur, complète Gérard Lebailly. Un ouvrage exceptionnel, c'est à peine davantage : 28 ou 29 mois."* Or une LGV compte un ouvrage tous les 800 m (335 au total sur les 300 km de la LGV, elle-même divisée en lots de 30 km). Les entreprises, on l'aura compris, sont à la recherche de solutions rapides, d'autant que la mise en place rapide des ouvrages contribue elle-même à faciliter les travaux de terrassement (mouvement des terres possible d'un emprunt à un dépôt situés de part et d'autre d'un ouvrage).

Cas des ouvrages monoblocs

Les ouvrages de petites dimensions ne posent guère de problèmes : les éléments sont tout simplement coulés en place ou réalisés en éléments préfabriqués en béton. Pour des ouvrages de plus grande importance, le tablier est conçu en poutres préfabriquées en usine, et donc construites en "temps masqué", parallèlement aux autres phases du chantier. Mais il existe aussi des ouvrages "monoblocs". *"Cette solution est retenue*





technique

Dernières évolutions de la méthode JMB®

Les deux dernières innovations apportées à la technique de l'Autoripage® développée par JMB Méthodes, qui ont toutes deux reçues le label "IVOR", concernent:

- d'une part le passage des câbles de traction entre le radier du cadre qui avance et le radier du cadre fixe. Cette solution permet de faire travailler le béton en compression, à la fois côté ancrage passif et côté ancrage actif. Il est ainsi possible de riper des ouvrages de n'importe quel poids ou présentant des biais importants;
- d'autre part le remplacement des perrés traditionnels par des bracons inclinés à 45° supportant les travées de rive. Cette solution évite le remblaiement, toujours long et délicat (risques de tassement ultérieur des voies) aux abords de l'ouvrage et permet de supprimer les dalles de transition, dont la réalisation est une condition supplémentaire au rétablissement de la circulation, et des murs en aile.

L'un des ouvrages de référence en matière d'Autoripage® est le passage de l'A77 sous les voies ferrées Paris Clermont-Ferrand à Boismorand (Loiret). Construit sous maîtrise d'œuvre SNCF Paris-Lyon par Demathieu et Bard, ce pont d'un poids total de 5 600 tonnes (biais 45°, longueur du tablier 100 m) a été réalisé à côté des voies à franchir puis ripé à son emplacement définitif.

Autre exemple, cette fois en Autofonçage®, l'échangeur du périphérique de Tours sous l'A10, (Cofiroute et Campenon Bernard). La circulation était basculée sur un seul côté de l'autoroute le lundi à 8 heures. Le vendredi à midi de la même semaine le demi-ouvrage était en place et la voie neutralisée était rendue à la circulation (six demi-ponts = six semaines).

>>> **Fond du Val** – 1 La mise en place de l'ouvrage par le procédé JMB Méthodes a exigé l'évacuation de 15 000 m³ de remblai pour un déplacement de 26 mètres. 2 Le système de traction par câbles permet de riper des ouvrages de tout poids. **Bayonne** – 3 Mise en place par rotation pour le tablier de cet ouvrage situé sur la RN 10, sans interruption majeure du trafic routier.

dans le cas des franchissements de concessions, notamment les franchissements d'autoroutes, poursuit l'expert technique. Ce fut le cas du passage inférieur de Zouafques, dans le Pas-de-Calais, sous l'autoroute A26. On l'utilise aussi en passage inférieur de voies ferrées, comme nous l'avons fait près d'Arras par exemple, sous la ligne Paris-Lille, lors de la construction de la LGV Nord. "Autant d'illustrations de la technique brevetée par Jean-Marie Beauthier sous le nom de JMB Méthodes®, avec mise en place de l'ouvrage en... 48 heures. L'ouvrage monobloc est alors construit à côté de la voie et mis en place ensuite par translation (franchissement de la ligne Épernay-Reims par la LGV Est), mais le cas existe où deux demi-ponts sont construits de part et d'autre de la ligne et rapprochés ensuite.

La méthode JMB, d'ailleurs, connaît des évolutions. "À l'origine, on ne poussait que des cadres, maintenant on peut pousser des ouvrages complets, avec les perrés [soutènements latéraux, voir encadré ci-contre], détaille Gérard Lebailly. Il est encore possible d'imaginer un fonçage [la voie ferrée repose alors sur des appuis provisoires pendant la construction de l'ouvrage définitif, voir encadré "JMB"], mais le problème de la préservation de la capacité de la voie reste important. La méthode du poussage est privilégiée par RFF, qu'il s'agisse de route

'sur' voie ou 'sous' voie." Mais le principal reste bien que le lot soit terminé à l'heure pour que l'installation (600 m de caténaire par jour) soit faite à son tour dans les délais. Et Gérard Lebailly ne dissimule pas l'exigence du maître d'ouvrage : "Le planificateur de RFF vise une mise en service de la LGV en juin 2007. Et il surveille son calendrier de très près..." Les chantiers rondement menés sont donc les bienvenus.

Les autoroutes aussi

Reste que RFF n'est pas l'unique prescripteur des solutions de mise en œuvre rapide. D'autres situations urgentes peuvent se présenter, comme la nécessité de mener le chantier dans le lit d'un fleuve ou plus simplement la volonté de ne pas perturber durablement le trafic sur un grand axe routier. Car l'interruption totale du trafic n'est pas le seul écueil des chantiers menés sur des axes de circulation. Les basculements et autres réductions de capacité ont aussi de fâcheuses conséquences au niveau de la sécurité des automobilistes, souvent victimes de ces déviations génératrices de nombreux accidents. ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : DR

interview

« Deux procédés records en rapidité et fiabilité »

La translation rapide des ouvrages d'art doit beaucoup à Jean-Marie Beauthier, inventeur de l'Autofonçage® puis de l'Autoripage®, méthodes qui comptent déjà une centaine d'illustrations de par le monde.

Pourquoi des techniques de translation rapides ?

Jean-Marie Beauthier : Prenons l'exemple du pont de Louvres dans le Val-d'Oise pour le passage de la Francilienne sous les voies ferrées Paris-Lille et la ligne D du RER (256 trains par jour !). La solution de base, c'est-à-dire la construction en place de l'ouvrage, par phasage, demandait environ neuf mois de ralentissement des trains. Le coût estimé de ces ralentissements dépassant les 2 millions d'euros, la solution par Autofonçage®, plus chère d'environ 300 000 euros à l'ouverture des offres, a permis une économie finale de 1 830 000 euros. L'explication de ces frais de ralentissement tient à la fois à la surconsommation de courant lorsque les trains réaccélérent et aux perturbations du trafic engendrées par les pertes de temps liées aux ralentissements.

Quelle était la méthode de base ?

J.-M. B. : La construction traditionnelle d'ouvrages sous voies ferrées consiste d'abord à poser des tabliers auxiliaires (TA) selon le phasage suivant : coupe et enlèvement des voies ; terrassement pour l'encoffrement des TA et des camarteaux (dalle béton préfabriquée posée soit directement sur le terrain en place, soit sur micro-pieux, soit encore sur colonnes de "jet grouting" ; pose de ces TA sur appuis fixés au milieu des camarteaux ; et enfin repose des rails. Les terrassements peuvent alors commencer sous les TA avec une pente des talus à 1/1. On construit alors la semelle puis la culée ou la palée correspondante. Il faut ensuite remblayer derrière la culée, opération très délicate, souvent déplacer

longitudinalement le TA, et recommencer l'opération jusqu'à terminaison des appuis. Les tabliers définitifs sont généralement construits sur des palées à côté des voies et mis en place par ripage en remplacement des TA. Il est bien évident que la construction d'un ouvrage sous voies exploitées est un facteur de risques graves pour le personnel, qu'elle engendre une perte de rendement, qu'elle allonge les délais de construction de l'ouvrage, et bien sûr qu'elle perturbe fortement le trafic ferroviaire. En outre, la SNCF doit assurer journalièrement la surveillance des camarteaux et des TA tout au long de la réalisation de l'ouvrage.

Quelle variante avez-vous proposée ?

J.-M. B. : Dans le dossier d'appel d'offres, l'ouvrage comportait deux culées et deux tabliers isostatiques en métal. Nous nous sommes rapprochés des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et de l'architecte, et l'autorisation nous a été accordée d'ajouter une palée centrale. De ce fait, nous avons remplacé les tabliers métalliques par quatre quarts de cadre en béton armé, construits par paires de chaque côté des voies. Aucune perturbation du trafic n'a eu lieu durant la construction des radiers de guidage et des quatre cadres. Nous avons ensuite procédé à l'enfilage des câbles de traction et au montage des vérins. En un week-end, quatre TA ont été posés, un par voie, axés sur deux quarts de cadre opposés. En une semaine, l'Autofonçage® des demi-cadres a été réalisé. Le week-end suivant, ripage longitudinal des quatre TA, la semaine suivante, Autofonçage® des deux autres cadres puis, le troisième week-end, enlèvement des TA. Ainsi nous n'avons

perturbé le trafic que deux semaines au lieu de neuf à dix mois.

Qu'en est-il du terrain traversé ?

J.-M. B. : Nous avons traversé tous les types de terrain. Le principe de l'Autofonçage® étant "terrasser puis avancer", les obstacles éventuellement rencontrés sont démolis à l'avancement. Notre vitesse moyenne en face d'un front de taille total est de l'ordre de 50 cm à l'heure. Pour un front de taille en partie dégagé, on peut monter à 3 m/h.

Quel est l'avantage majeur des méthodes d'Autofonçage® et d'Autoripage® ?

J.-M. B. : Le glissement à même le sol. La pression apportée par ce type d'ouvrage sur le sol est très faible, de l'ordre de 0,4-0,5 bar pour les ponts cadre et de 0,6-0,8 bar pour les ouvrages avec travées d'approche. Nous passons donc sur n'importe quel type de terrain, ce qui n'est pas le cas des systèmes sur longrines qui apportent une pression au sol beaucoup plus importante. Lors de la mise en place d'un ouvrage d'art, nous n'avons pas à poser ni à régler des longrines de ripage. Et comme nous talonnons les pelles qui terrassent dès qu'elles ont terminé, il en est de même pour le ripage de l'ouvrage. En conclusion, même si avec les systèmes sur longrines la vitesse de déplacement des ouvrages peut être plus importante, nous sommes toujours plus rapides au final car nous n'avons ni longrines ni matériel de ripage à poser et à déposer, ce qui, ajouté à la faible pression sur le sol apportée par nos ouvrages, fait de nos deux procédés les systèmes les plus rapides et les plus fiables actuellement.

Propos recueillis par Philippe François



>>> **Thaon-les-Vosges (88) – 1 et 2** Le pont-rail de Thaon-les-Vosges a été mis en place en une coupure totale de 24 h par autoripage® avec travées d'approche. Les travaux ont consisté en : construction du radier de guidage ; construction de l'ouvrage avec travées d'approche ; durant la coupure : terrassements pour "encoffrement" de l'ouvrage dans le remblai ferroviaire ; autoripage® de l'ouvrage à une vitesse de 12 ml/h, remplissage avec béton autoplaçant des interstices entre l'intrados des bracons et le remblai ferroviaire ; le tablier étant préballasté, repose des voies.

Thonon-les-Bains (74) – 3, 4 et 5 Autofonçage® et autoripage® associés. Problèmes essentiels : présence d'un ponceau en maçonnerie à démolir partiellement ; présence juste à côté du nouvel ouvrage d'un pont-rail en maçonnerie voûté. Il a donc fallu conserver les terres de chaque côté des culées de cet ouvrage pour ne pas déstabiliser la poussée des terres. Biais important : 51,597°. Ouvrage ripé en pente de 2%. Portée droite 18 m ; braise, 22,96 m.



→ Quatre ouvrages, quatre méthodes de mise en œuvre

Les méthodes de mise en place rapide des ouvrages d'art sont nombreuses. Les entreprises Quille et Razel explorent des solutions originales. Illustrations.



PONT DU FOND-DU-VAL À ROUEN (SEINE-MARITIME)

→ "Classique" autoripage

Ce pont-caisson extrêmement lourd (6 500 tonnes pour 60 m de longueur entre appuis) a été créé pour permettre le passage de la ligne de bus TEOR (Transport Est-Ouest Rouennais) sous la ligne SNCF Paris-Rouen-Le Havre. (La ligne TEOR vise à favoriser les déplacements d'est en ouest dans l'agglomération rouennaise, tout en faisant appel à un système original de véhicules sur pneus avec guidage optique – à mi-chemin entre tramway et bus – avec aménagement partiel en site propre.) Le tablier-caisson repose sur deux culées fondées sur des barrettes. La technique de l'autoripage (brevet JMB Méthodes) a été retenue

pour sa mise en place (le déplacement étant de 26 m). L'une des difficultés majeures consistait à évacuer les 15 000 m³ de remblai en l'espace de 24 heures. "Le plus grand problème est venu du terrain, explique Jean-Claude Ferté, directeur du développement technique chez Quille à Rouen. Le risque de tassement était important." Au final, un très léger tassement a été observé et "récupéré".

Les travaux ont exigé une interruption totale du trafic ferroviaire, la continuité du service étant assurée par un service de cars. Au total, 60 heures de coupure ont été nécessaires à la mise en place de l'ouvrage en béton précontraint (circulation coupée le vendredi à 0 heure pour une réouverture le lundi à 15 heures). La dépose des voies s'est effectuée en 6 heures, le ripage proprement dit en 11 heures. La repose des

voies a pris 9 heures. Des accéléromètres ont été disposés en différents points de l'ouvrage, ainsi que des jauges de déformations pour s'assurer que les efforts n'étaient pas trop importants. "Précisons que l'on poussait les deux culées et le tablier, sans aucun écartement possible entre les culées, reprend Jean-Claude Ferté. Il fallait donc contrôler la trajectoire en général et la position des éléments les uns par rapport aux autres. La SNCF s'est dite parfaitement satisfaite de l'ouvrage et de la technique utilisée pour sa mise en place."

PHOTOS : DR

Maître d'ouvrage : RFF

Maître d'œuvre : SNCF

Entreprise : Quille

Direction technique : Quille et JMB Méthodes



PONT SNCF "PN 30" À SAINT-PIERRE-DU-VAUVRAY (EURE)

→ Pont "flotté"

Le procédé d'autoripage suggéré dans l'appel d'offres s'est finalement transformé en une mise en place par flottaison pour ce portique fermé à gabarit réduit. Deux étapes de terrassement ont été effectuées avec réalisation d'une enceinte en palplanches. L'ouvrage, un "tube de béton" de 2,90 m et de 900 tonnes, fut "fermé" le temps des travaux par deux portes métalliques étanches. Après terrassement de la seconde partie sous les voies, l'enceinte a été mise en eau. "Le pont

s'est ainsi mis à flotter et l'ouvrage a pu être avec déplacé avec un simple tire-fort, explique Jean-Yves Souply, responsable du service Méthodes de l'entreprise Quille à Rouen. Une fois l'ouvrage au droit de sa position définitive, l'enceinte a été vidée et l'ouvrage s'est échoué dans le fond." Le trafic SNCF a été interrompu pendant un jour et demi.

Les seules contraintes d'utilisation de cette technique sont liées à la configuration du terrain – le sol doit être imperméable – et bien sûr à la disponibilité en eau. En l'occurrence, c'est l'eau de la Seine, distante de 150 m seulement, qui a été pompée (2 000 m³) puis renvoyée dans le fleuve après mise en place de l'ouvrage. "Dès

lors que le besoin en eau est satisfait, le besoin en énergie pour le déplacement est très faible, poursuit Jean-Yves Souply. Le déplacement a pris une heure, pour une interruption du trafic de 22 heures au total, y compris le terrassement, la mise en eau et la remise en place des voies." Ce procédé est aussi le plus économique quand l'eau est disponible facilement, et les premiers travaux de ce genre remontent aux années 60.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: RFF

Maître d'œuvre: SNCF Normandie

Entreprise: Quille-Eiffage TP

Direction technique: Quille-Eiffage TP

FRANCHISSEMENT ROUTIER (RD 200) SUR L'A1 DANS L'OISE

→ Pont "poussé"

Un chantier réalisé en 2003, avec l'objectif de ne pas interrompre le trafic sur l'autoroute A1. L'ouvrage a été réalisé en deux tronçons à l'arrière des culées. Chaque demi-tablier pèse 750 t, et la travée centrale atteint 43 m. Les deux demi-tabliers (des caissons précontraints) ont été poussés chacun vers le centre, après réalisation des piles sur les deux bandes d'arrêt d'urgence. "En théorie, l'ouvrage est autostable, mais une masse de 50 t a été ajoutée, par sécurité, à l'arrière de chaque demi-tablier pendant le poussage", précise Jean-Yves Souply.

L'absence de pile centrale a éliminé les problèmes de circulation et le poussage a été mené en deux jours. Des câbles de précontrainte fixés sur la culée et à l'arrière du tablier permettaient de déplacer les ouvrages à l'aide de vérins. Lors de la seconde journée de poussage, de nuit, le trafic a été transféré dans le sens opposé (l'autoroute à 2x3 voies a été réduite temporairement à 2x2 voies). Pendant la phase de clavage, le trafic a été interrompu sur les deux voies rapides, mais là encore, la circulation n'a pas subi de vraie interruption.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: conseil général de l'Oise

Maître d'œuvre: dir. départ. des Infrastructures de l'Oise

Entreprise: groupement Quille-Spie





PONT-ROUTE DE PUGET-THÉNIERS (ALPES-MARITIMES)

→ Pont "tourné"

Il a été décidé de remplacer le vieux pont métallique qui franchit le Var par un pont plus large, d'une seule travée de 70 m de long. La solution retenue est celle d'un pont à haubans avec une petite travée arrière. Le projet de base prévoyait un coulage sur cintre dans le lit du Var, opération possible durant les trois mois d'été, quand l'éventualité d'une crue du cours d'eau est très faible. Mais la succession des opérations (endiguement, mise en place du cintre, coulage) ne laisse que peu de marge et le risque demeure élevé. "Pour s'affranchir de cette contrainte, nous avons décidé de construire le tablier sur la rive parallèlement à la rivière, explique Michel Placidi, directeur technique de l'entreprise Razel. Une fois le tablier terminé et après mise en tension des haubans, nous avons tout simplement tourné l'ensemble." Le pylône repose ainsi sur deux appuis, l'un servant d'axe de rotation, l'autre glis-

sant sur une longrine circulaire. "Un troisième appui aurait été nécessaire mais nous avons choisi de le supprimer en procédant à un équilibrage précis du fléau avant rotation, complète le directeur technique. Ce choix technique a imposé une mesure et un pesage exacts de la structure pour situer précisément le centre de gravité de l'ensemble." Au final, l'ouvrage de 85 m de long et 30 m de haut, d'un poids total de 3 000 t, a été tourné en 4 heures. La construction, quant à elle, a pris 6 mois. "Délivrés de l'impératif de délai, nous avons pu travailler dans des conditions classiques et en toute sécurité pour les ouvriers", conclut Michel Placidi. Tout en respectant l'enveloppe budgétaire de base... Cette technique de mise en œuvre est aussi utilisable pour le franchissement des voies routières, autoroutières et ferroviaires sans interruption du trafic.

PHOTOS : DR

Maître d'ouvrage : Conseil général des Alpes-Maritimes
Architecte : Laurent Barbier
Entreprise : Razel
BET : SETRA

