

DÉCONSTRUCTION ET RÉGÉNÉRATION DES GRANDS OUVRAGES MÉTALLIQUES DU PATRIMOINE FERROVIAIRE

Patrice SCHMITT, Michel TRIQUET
SNCF – Direction de l'Ingénierie

1. LES OUVRAGES D'ART DU PATRIMOINE FERROVIAIRE

Le réseau ferré national exploité comprend plus de 50 000 ouvrages d'art de tous types et de tous âges. Parmi ceux-ci, il existe un grand nombre de tabliers métalliques, matériau qui a été largement employé dès les origines du chemin de fer, notamment pour franchir les plus grandes portées, requises en particulier au-dessus des fleuves. Certains ouvrages sont aujourd'hui célèbres, tels que le viaduc de Garabit sur la Truyère ou la « Passerelle » sur la Garonne à Bordeaux et leur réalisation est associée à de grands noms tels que Gustave Eiffel. Leur construction a souvent été l'occasion de véritables prouesses techniques, voire d'innovations en fonction des contraintes imposées par le site.

1.1. Des ouvrages anciens constitués de matériaux divers

Les grands ouvrages d'art métalliques du réseau ferré datent pour la plupart de l'époque de construction des lignes, c'est-à-dire des années 1860 à 1910.

Au cours de ces années, les techniques de construction, de même que les matériaux ont fortement évolué. Les tous premiers ouvrages étaient en fonte, puis rapidement, on employa de préférence un métal dénommé « fer puddlé », avant l'avènement de l'acier, qui connut lui-même de fortes améliorations successives en terme de qualité (acier doux - acier moderne).

Le patrimoine des ouvrages du réseau ferré est distribué de la manière suivante (cf. figure 1).

En fonction de leurs matériaux constitutifs, le comportement des structures est profondément différent. En plus d'un fort accroissement de limite élastique, la différence essentielle entre le fer puddlé et l'acier réside dans le fait que le premier est caractérisé par un comportement essentiellement fragile, alors que l'acier est ductile en condition normale d'utilisation. Le fer puddlé est de plus caractérisé par une grande anisotropie.

De ce fait, les matériaux constitutifs des ouvrages ont une influence directe sur leur sécurité rémanente en fonction de leur état. Ils déterminent également les techniques envisageables pour leur réparation et leur déconstruction.

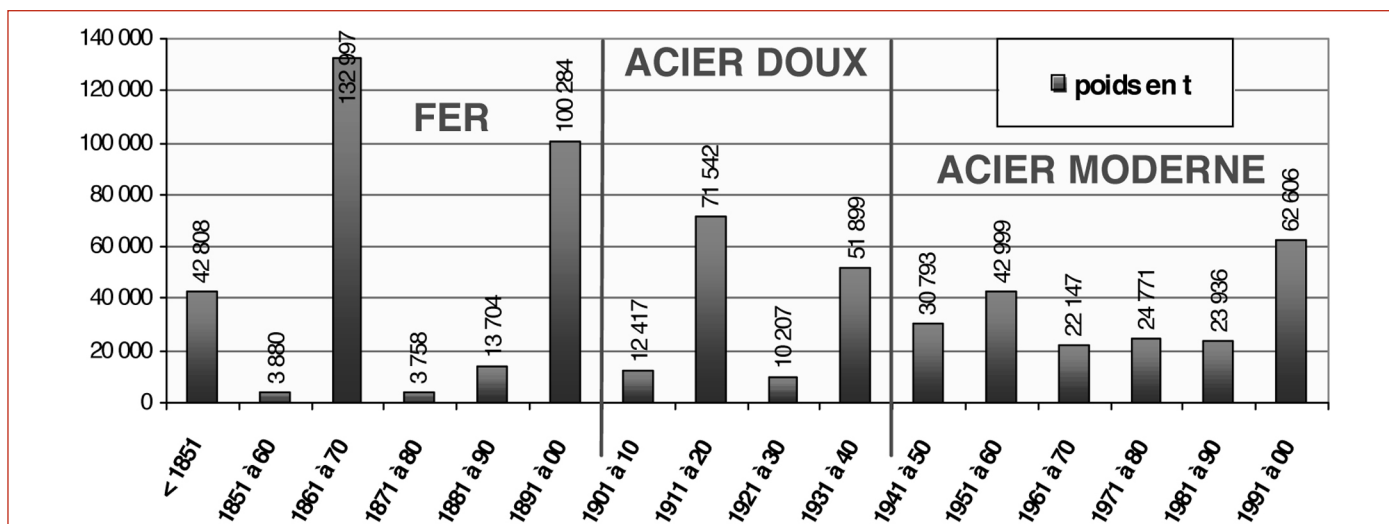


Figure 1.

1.2. Des ouvrages à la vie mouvementée

Durant leurs 100 à 150 ans d'existence, les ouvrages ont été exposés à diverses vicissitudes liées aux modifications de leur environnement, par accident ou par faits de guerre :

- élargissement ou allongement,
- affouillement et instabilité de certains appuis en rivière,
- modification d'appuis par exemple à l'occasion de la création d'une route sous l'ouvrage,
- insuffisance d'entretien, notamment de réfection de la protection anti-corrosion,
- déraillements de trains sur ouvrage,
- réparations ponctuelles et localisées avec substitutions de pièces ou renforcement,
- bombardements et relevage consécutifs,
- etc.

Les archives conservées font parfois état de ces événements, mais elles ne sont pas forcément disponibles ni exhaustives pour tous les ouvrages.

L'ouvrage franchissant la Seine à Oissel est représentatif des aléas qu'ont connus ces ouvrages durant les guerres notamment, où ils ont été fréquemment bombardés, puis relevés dans l'urgence et hâtivement consolidés pour faire face aux besoins de transport liés à la reconstruction. L'ouvrage de Oissel, pour sa part a été endommagé et relevé deux fois au cours de la guerre 1939-1945.

Les déraillements sur les ouvrages peuvent également avoir des conséquences considérables : une suite rapide (convoi ferroviaire utilisé pour les travaux de voies) a en effet déraillé le 24 juillet 2006 sur le pont franchissant le Rhône à Culoz, dont les travaux de remplacement étaient engagés, provoquant des dégâts très importants. La réparation de ces avaries aurait été extrêmement délicate.

Dans le passé certains déraillements ont parfois provoqué l'effondrement de certains ouvrages.

Toutes les vicissitudes qui ont ponctué l'histoire des ouvrages ont une influence directe sur leur état et leur comportement. En effet, toute modification de la structure (renforcement, diminution de section, modification de schéma statique) provoque inévitablement une redistribution des efforts de telle sorte que le fonctionnement ultérieur des

ouvrages n'est pas forcément totalement identique à celui prévu à l'origine.

Les événements accidentels (bombardement, déraillement, etc.) notamment, et les réparations consécutives de ces structures généralement hyperstatiques provoquent l'emprisonnement de contraintes internes, qu'il est très difficile

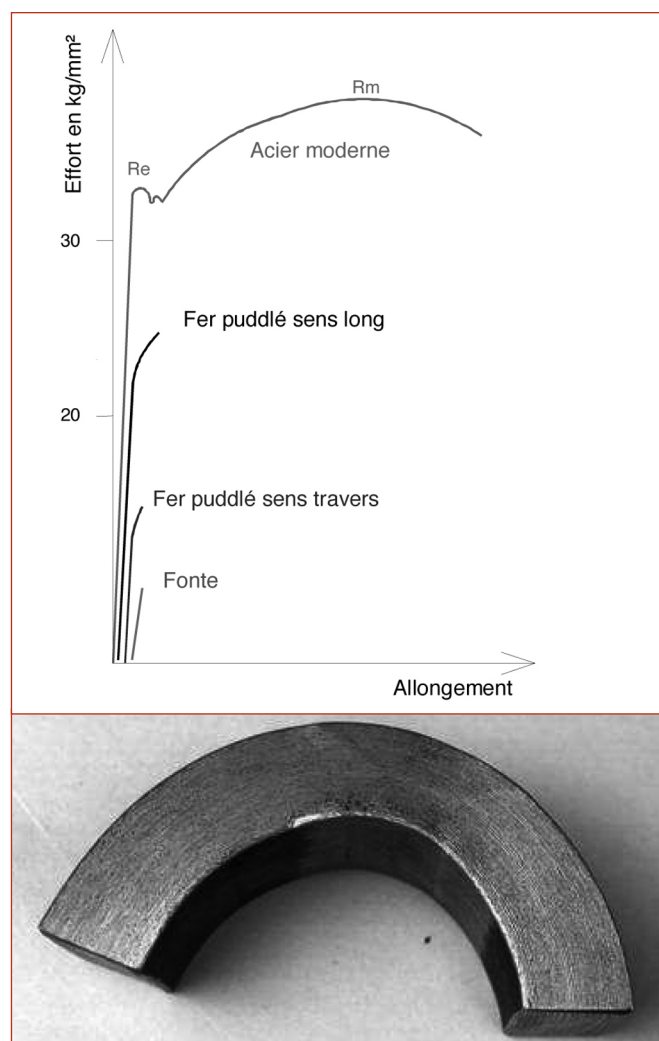


Figure 2: Essai de pliage d'acier moderne.

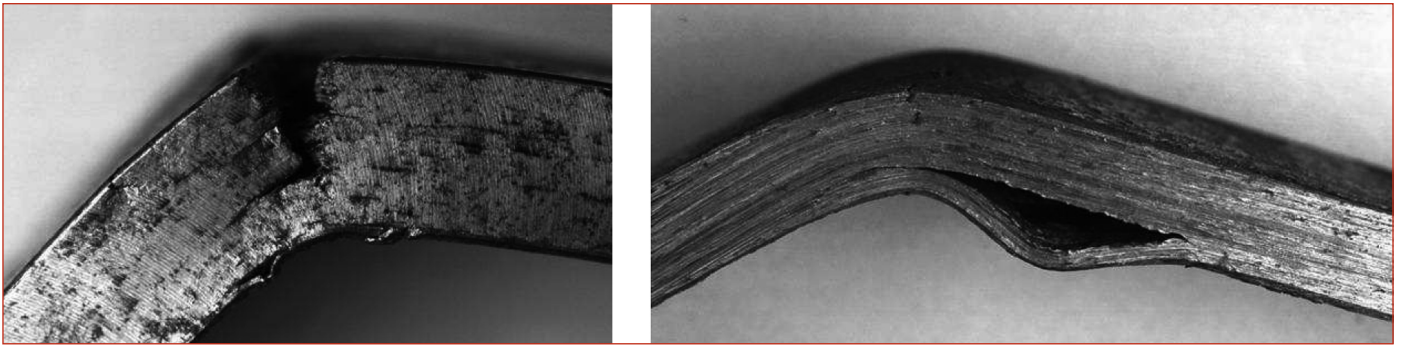


Figure 3: Essais de pliage de fer puddé.

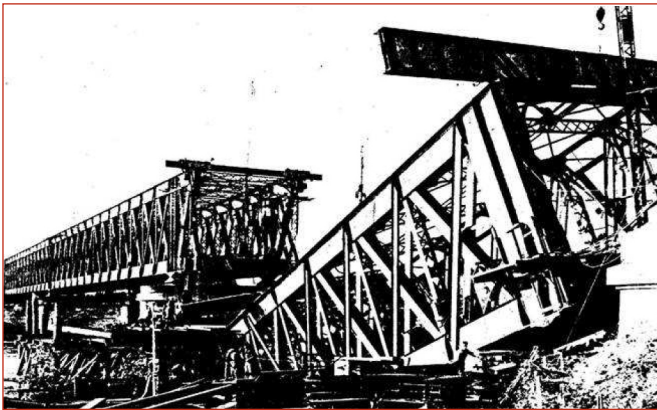


Figure 4: 1940: une travée effondrée, relevée et réparée en 1940-1941.



Figure 6: Déraillement sur le pont de Culoz en 2006.



Figure 5: 1944 : ouvrage bombardé par les alliés.

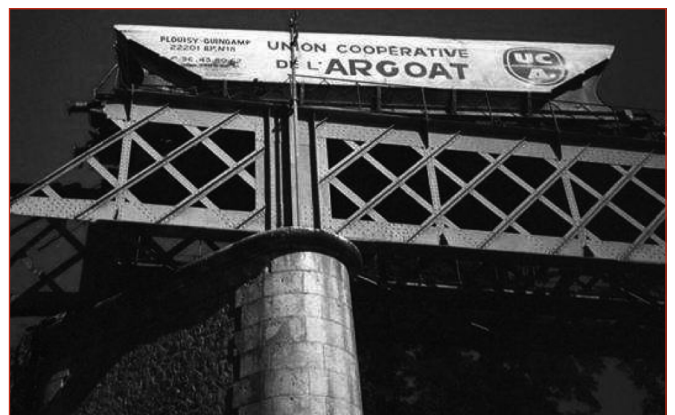


Figure 7: Effet d'un déraillement sur un tablier en fer puddé (Pont sur la Baise).

d'estimer, mais qui ont une influence directe sur leur capacité portante et leur durée de vie résiduelle.

2. LA RÉGÉNÉRATION DES OUVRAGES ET SES CONTRAINTES

Les grands ouvrages d'art anciens étant en général structurants pour le réseau ferré, ils font aujourd'hui l'objet d'une surveillance attentive, débouchant sur des travaux réguliers d'entretien ou de réparation. La politique actuelle prévoit que lorsque l'état des structures l'impose leur remplacement est programmé et réalisé à courte ou moyenne échéance.

2.1. Les pathologies des ouvrages métalliques

Les pathologies affectant les anciens ouvrages métalliques sont souvent dues aux phénomènes suivants :

- corrosion affectant des zones localisées ou généralisée ;
- fatigue consécutive au passage répété des convois ferroviaires.

L'état de corrosion de certains ouvrages est préoccupant, du fait de la non-réfection de la protection anti-corrosion pendant de longues périodes, pour des raisons budgétaires ou du fait des difficultés d'intervention sur certaines structures (ouvrages à treillis, éléments petits et multiples, contraintes environnementales, etc.). La corrosion conduit parfois à de sérieuses réductions de sections, diminuant sensiblement la capacité de résistance des sections concernées.

La fatigue se manifeste soit par l'apparition de fissures dans les éléments soit par la déconsolidation de certains assemblages, en particuliers rivetés. Elle apparaît au bout d'un certain nombre de cycles de chargement, en fonction des variations de contraintes locales provoquées par ces chargements. En ce qui concerne les ponts ferroviaires, on estime que la majeure part de l'endommagement en fatigue est due aux circulations entre 1945 et nos jours, du fait de l'augmentation du poids à l'essieu, conjugué à une densification du trafic.



Figure 8: Exemple de fissure de fatigue.



Figure 9: Exemple de corrosion de semelle.

2.2. La politique de régénération

Afin de garantir la sécurité des circulations, RFF et la SNCF procèdent régulièrement à des travaux, appelés «régénération» sur les ouvrages métalliques anciens. Lorsqu'elles restent localisées, les pathologies constatées sur les ouvrages lors des inspections périodiques sont réparées. Lorsque les avaries sont généralisées et que le potentiel de la ligne justifie de gros investissements, le remplacement de tout ou partie de l'ouvrage est programmé. Cependant, même dans ce cas, il est parfois nécessaire de réaliser des opérations de confortement sur l'ouvrage en attente de son remplacement, en raison des délais importants entre le moment où la décision de remplacement est prise et la mise en service du nouvel ouvrage effective.



Figure 10: Remplacement de rivets.



Figure 11: Réalisation d'une triplure.

La SNCF dispose d'équipes spécialement dédiées à la réparation des ponts métalliques, dénommées «équipes RPM». Ces équipes sont capables entre autres de remplacer des éléments isolés au sein d'une charpente, de réaliser la triplure de certains plats métalliques, ou de remplacer des rivets déconsolidés.

2.3. Les contraintes de réalisation des travaux

En ce qui concerne les grands ouvrages, une campagne massive de remplacement a été initiée dans les années 1990 et se poursuit à raison en moyenne d'une ou deux opérations par an. Ces chantiers demandent une grande préparation, car ils sont sensibles et soumis à de très fortes contraintes spécifiques :

- la nécessité de limiter la gêne occasionnée à l'exploitation : les ouvrages concernés étant en général stratégiques, toute interruption de circulation pour cause de travaux a des conséquences très importantes sur la gestion des circulations. Aussi, les plages travaux doivent être programmées plusieurs années à l'avance. En cours de chantier, il est très difficile de déroger aux plages qui ont été déterminées, ce qui signifie que lorsqu'un week-end ou une nuit d'interruption sont nécessaires, il est impératif de s'organiser pour respecter les dates prévues parfois quatre ans à l'avance ;
- l'environnement des ouvrages : la plupart de ces ouvrages sont des ouvrages urbains, ce qui complexifie l'organisation des travaux et la gestion du chantier. L'emprise disponible est alors généralement très

réduite, et de fortes contraintes relatives au bruit ou à la circulation des engins s'appliquent ;

- le classement en monument historique de certains ouvrages (exemple : la passerelle de Bordeaux), ce qui limite les possibilités d'intervention sur ces ouvrages ;
- l'état d'endommagement et les matériaux constitutifs de certains tabliers (fer puddlé notamment) qui imposent des précautions particulières pour toute intervention et a fortiori leur déconstruction.

3. LES SOLUTIONS DE RÉGÉNÉRATIONS – EXEMPLES

La réalisation de travaux de grande envergure et notamment les opérations de remplacement de tablier ou d'ouvrage complet constitue une problématique spécifique du réseau ferré, qui demande des solutions originales et adaptées à chaque contexte. L'enjeu principal, outre la maîtrise des coûts, est avant tout la limitation des perturbations générées pour le trafic ferroviaire.

Il est extrêmement rare de pouvoir bénéficier d'une coupure longue (c'est-à-dire de plusieurs mois) pour réaliser ces opérations. Par conséquent, il est souvent fait appel à des solutions particulières telles que :

- réalisation d'une déviation provisoire,
- mise sur appuis provisoires,
- réalisation de soutènements et de blindages provisoires,
- opération de ripage, de roulage, de grutage, etc.,
- construction en sous-œuvre,
- utilisation de grues de très forte capacité (≥ 800 t).

En général, l'opération de reconstruction combine plusieurs de ces méthodes et se déroule suivant un phasage de réalisation complexe associé à un phasage d'exploitation des voies ferrées. Elle peut concerner uniquement le tablier métallique, avec éventuellement des travaux mineurs de confortement et d'adaptation des appuis existants qui sont conservés ou bien comprendre également la réalisation d'appuis totalement neufs.

Dès lors qu'il est nécessaire de déplacer un élément constitutif de l'ouvrage (tablier, appui) en un minimum de temps, tout gain de poids devient très profitable. Pour cette simple raison, les tabliers neufs sont, à l'image des anciens, également souvent métalliques ou mixtes.

Ci-dessous sont développés quelques exemples de chantiers de remplacement dont la SNCF a assuré la maîtrise d'œuvre (conception et suivi de réalisation).

3.1. Le remplacement de la « passerelle » de Bordeaux

La « passerelle » de Bordeaux est un ouvrage à deux voies de type pont-cage, franchissant la Garonne pour desservir la gare Saint Jean et construit dans les années 1860. Dans le cadre d'une augmentation de capacité de l'accès à Bordeaux, il a été décidé d'élargir le franchissement à quatre voies. Cet objectif, cumulé à l'état médiocre (fatigue des pièces de ponts et des longerons, corrosion) du tablier historique a justifié son remplacement par une structure neuve, por-

tant deux groupes de deux voies, et construit en déviation définitive à l'aval.

Ces travaux se sont conjugués aux travaux d'aménagement des accès et à la reconstruction des viaducs sur les berges (quais de Paludate et de la Souys). Le phasage général est le suivant :

- construction du nouvel ouvrage en Garonne et de la partie aval des viaducs d'accès (circulation maintenue à deux voies sur l'ouvrage existant) ;



Figure 12: Remplacement de la passerelle de Bordeaux.



Figure 13: Charpente métallique du nouveau tablier.

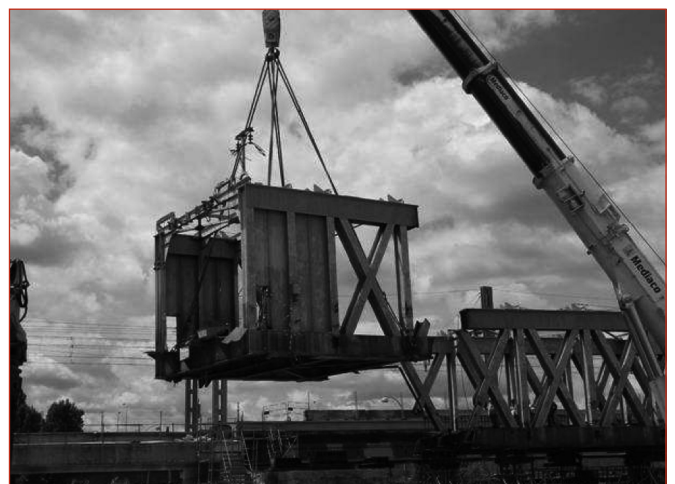


Figure 14: Démolition de l'ancien tablier.

- basculement des circulations sur les ouvrages neufs, avec deux voies exploitées ;
- démolition des anciens viaducs d'accès et des extrémités de la « passerelle » ancienne ;
- achèvement des ouvrages neufs et mise en service des deux dernières voies.

L'ouvrage neuf est constitué de trois caissons métalliques (un central et deux latéraux) et d'entretoises portant une dalle en poutrelles enrobées longitudinales. Ses portées principales sont de 77 m et correspondent à celles de l'ouvrage historique pour limiter l'impact hydraulique en phase de chantier. Les tronçons de charpente ont été amenés par bateau et mis en place à la grue.

3.2. Le pont sur le Rhône à Culoz

Le pont sur le Rhône à Culoz est constitué de deux tabliers indépendants de 212 m de longueur portant chacun une voie. Il a été remplacé par un tablier à deux voies de type RaPL (Pont Rail à Poutres Latérales) à âme pleine.

Le phasage de réalisation a constitué à :

- construire de nouvelles piles en sous-œuvre sous les tabliers existants en exploitation ;
- lancer la nouvelle ossature parallèlement à l'ouvrage existant sur des appuis provisoires ;

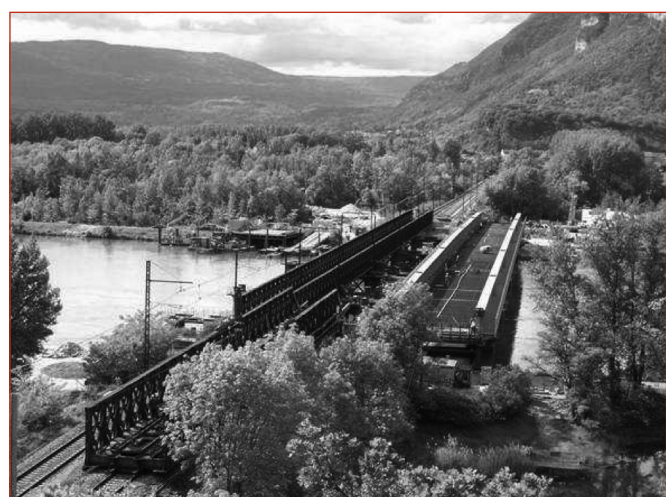


Figure 15: Vue générale : tablier neuf en construction et tablier ancien accidenté en cours de délançage.

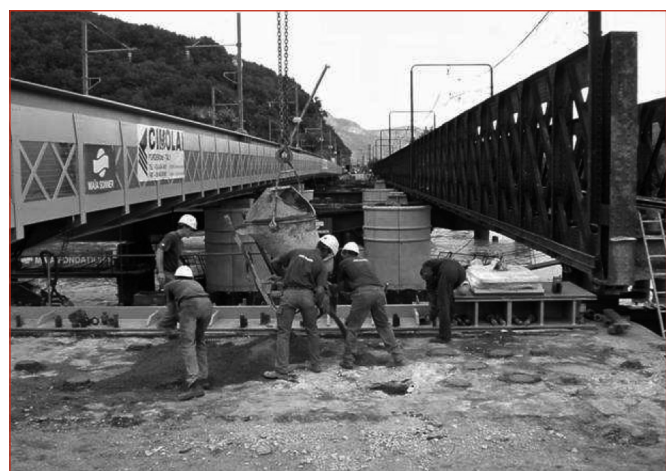


Figure 16 : Préparation du chemin de ripage sur culées.

- bétonner la dalle et l'équiper en ballast et voie ;
- au cours d'une coupure de 120 heures, délançer les tabliers anciens et riper transversalement le nouveau sur ses appuis.

Le phasage initialement prévu a été perturbé par l'accident survenu le 24 juillet 2006 qui a rendu totalement inutilisable un des deux tabliers anciens, et qui a été démonté par conséquent avant la coupure.

Le principe de régénération du viaduc d'Orgon sur la Durance durant l'été 2008 est similaire.

3.3. Le viaduc de Oissel sur la Seine

Le viaduc de Oissel sur la Seine est un ouvrage à trois travées de type pont cage en fer puddlé. Il a été remplacé par un ouvrage de type RaPL, avec conservation des appuis. Compte tenu des contraintes imposées par l'exploitation (ligne Paris – Rouen), le phasage retenu a été le suivant :

- lançage de la charpente et construction du nouvel tablier parallèlement à l'ouvrage ancien sur des appuis provisoires ;
- basculement des circulations sur le nouvel ouvrage, via la création d'une déviation provisoire nécessitant d'importants blindages ;
- délançage et démolition de l'ancien tablier en prenant toutes les précautions nécessaires ;



Figure 17: Charpente du tablier neuf en cours de lançage.



Figure 18: Circulation sur le tablier neuf en situation provisoire.

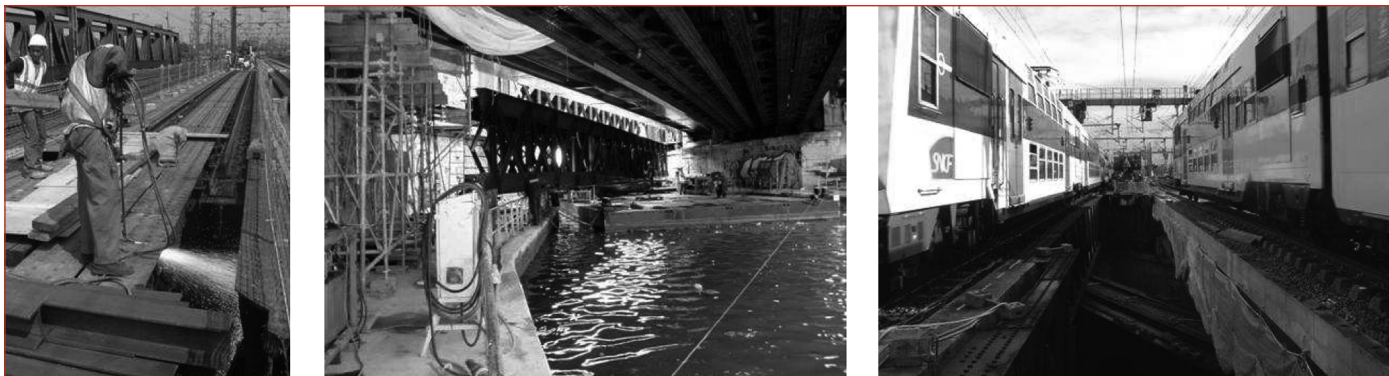


Figure 19: Découpe et évacuation du tablier ancien par dessous au milieu des circulations ferroviaires.

- aménagement des têtes des appuis anciens ;
- au cours d'une coupure de 72 heures, ripage transversal du nouveau tablier et raccordement définitif des voies ;
- démolition des appuis et des soutènements provisoires.

3.4. Les ponts sur le canal Saint-Denis

Ces ouvrages situés sur le faisceau de Paris Nord portent chacun une voie et sont constitués d'une travée unique. Il s'agit de structures à poutres treillis sous voie. Les contraintes pour leur remplacement sont les suivantes :

- coupure de courte durée limitée au plus à deux voies, les voies adjacentes restant circulées,
- seuls accès au site : voie ferrée ou canal passant sous l'ouvrage,
- grande exigüité du site.

Pour chaque tablier le phasage retenu est le suivant :

- fabrication complète du nouveau tablier (bipoutre mixte) à proximité ;
- découpe du tablier ancien et évacuation par-dessous à l'aide d'une barge sur le canal ;
- aménagement des appuis (pose de nouveaux sommiers préfabriqués à l'aide de ponts roulants) ;
- acheminement à l'aide de lorries ferroviaires de la travée neuve sur la voie adjacente, ripage transversal et prise en charge sur des tours d'étaisements ;
- dévérinage progressif de la nouvelle travée



Figure 21: Dévérinage de la nouvelle travée sur tours d'étaisements.

La principale difficulté de ce chantier provient de l'exigüité des lieux, de la multiplicité des méthodes et du voisinage immédiat des voies circulées.

3.5. Le viaduc de Lamothe

Le viaduc de Lamothe est un ouvrage à quatre travées appuyées sur de hautes piles maçonnées. Il porte deux voies. Constitué de poutres treillis sous voies, il a été remplacé par un bipoutre mixte de hauteur variable. Le phasage de réalisation, original, a été le suivant :



Figure 20: Amenée de la nouvelle travée.



Figure 22: Dépose du demi-tablier de l'ouvrage ancien.



Figure 23: Bétonnage du demi-hourdis du nouveau tablier.

- élargissement des chevêtres des piles par ajout de consoles précontraintes ;
- enfilage des entretoises du nouvel ouvrage à travers le treillis existant ;
- pose à la grue des poutres principales du nouveau tablier sur les chevêtres et assemblage des entretoises ;

- dépose du tablier métallique sous une des voies, la circulation étant maintenue sur l'autre et bétonnage d'un demi-hourdis ;
- basculement de la circulation à une voie sur le nouvel ouvrage, puis dépose de la deuxième partie du tablier métallique ;
- bétonnage de la deuxième moitié du hourdis et mise en service de la deuxième voie.

4. CONCLUSION

Le réseau ferré national comporte de nombreux grands ouvrages qui font l'objet de phénomène de fatigue généralisée ou de corrosion importante et qu'il est nécessaire de remplacer petit à petit. Ces opérations sont très délicates car elles sont soumises à de fortes contraintes dues à l'environnement ferroviaire exploité. Afin de limiter les interceptions de circulation il est nécessaire de trouver au cas par cas des solutions constructives originales et adaptées. Ces opérations font généralement appel à de nombreuses méthodes et opérations individuelles et se déroulent suivant un phasage complexe. Le Département des Ouvrages d'Art de la SNCF a acquis des compétences et une expérience unique de maîtrise d'œuvre pour ce type d'opération.