

2 et 3 octobre 2014 à Toulouse
Le colloque Le Pont



Ce 19ème colloque traitait **des ouvrages de génie civil structurant les réseaux ferrés**. Le débat a porté sur des problèmes de domanialité liés à l'interférence de différents gestionnaires lorsqu'ils se croisent.

La gestion des quelques 50 000 ponts qui jalonnent les voies ferrées intéressent bien évidemment tous les autres maîtres d'ouvrage.

Une vision européenne de l'ensemble du réseau ferré nous a été donnée par Mr. Martin Muncke (président du comité « Ponts » de l'Union Internationale des Chemins de Fer).

Patricia Vergne-Roches et Patrick Schmitt ont parlé de l'audacieuse construction du Viaduc de Garabit et Guy Roques nous a fait rêver avec la fabuleuse histoire du chemin de fer.

A la façon « Jules Verne », et après avoir fait celui des ponts et des barrages, nous avons fait un « tour du Monde en 80 gares ».

Pour la traditionnelle soirée conviviale, à défaut de regarder passer les trains, nous avons pris de la hauteur, en un lieu d'où nous pouvions contempler Toulouse d'en haut, ses clochers, ses ponts et sa Garonne.

Rappel du programme

Jeudi 2 octobre 2014

8h30 : Accueil des participants



9h00 : Ouverture et présentation du colloque

Rémi LOLOUM (Journaliste)

Daniel POINEAU (Consultant)

9h05 : Plan Rail en région Midi-Pyrénées

Charles MARZIANI (Vice-président du Conseil Régional Midi-Pyrénées)

Patrimoines ferroviaires

9h25 : Présentation du Patrimoine ferroviaire et Politique de Gestion

Olivier SCHOEN (RFF)

9h45 : Pathologies spécifiques des ouvrages ferroviaires

Philippe RAMONDENC (Consultant)

10h05 : Patrimoine des ouvrages d'art de la RATP

Jean-François DOUROUX (RATP)

10h25 : Pause café et visite de l'exposition technique.

Gestion des ouvrages ferroviaires : Session 1

10h55 : Méthodologie de recensement des désordres et priorisation des travaux sur un patrimoine d'ouvrages d'art ferroviaires

Richard VAISSIERE (CEREMA - Département Laboratoire de Clermont-Ferrand)

11h15 : Politique de gestion et de maintenance des tunnels ferroviaires

Patrick THIAUDIERE (SNCF)

11h35 : Réhabilitation et réfection anti-corrosion du viaduc de Rouzat classé type « Eiffel »

Renaud LECONTE (DIADES)

12h05 : Renforcement d'ouvrages d'art pour le passage d'un tramway :

Pont Saint Michel à Toulouse

Anne-Laure BRAZIER (SMAT) et Jean-Philippe SAQUET (Toulouse Métropole)

Pont National à Paris

Michel MOUSSARD (ARCADIS)

12h45 : Déjeuner sur place parmi l'exposition technique

Interventions Entreprises

14h15 : La protection cathodique des ouvrages

Olivier LESIEUTRE (Sté FREYSSINET)

14h30 : Application de la fibre optique au génie civil des transports ferroviaires

Pierre HOZI (Sté OSMOS)

Table ronde (débat) :

14h45 : La domanialité des ouvrages d'art, droits et devoirs du propriétaire et du gestionnaire.

Evelyne DIDIER (Sénatrice et auteur du projet de loi sur la domanialité des OA)

Olivier SCHOEN (RFF),

Didier SACHY (VNF),

Yannick JEANJEAN (ASFA),

Philippe GUIGNARD (ADSTD).

16h15 : Pause café et visite de l'exposition technique

16h45 : Intervention des étudiants

Pont et Tenségrité

Charlotte DUMAS, Jean-Philippe MOUTON et Xavier LEGROS élèves ingénieurs Polytech Marseille

17h05 : Le tour du monde en 80 gares

Patrick GUIRAUD (CIMbéton) et Noël RICHET (ASCO TP)

17h25 : Présentation historique du viaduc de Garabit

Son histoire

Patricia VERGNE-ROCHES (Historienne de Garabit)

Sa construction

Patrice SCHMITT (SNCF)

18h05 : L'histoire de la première ligne Grande Vitesse Française

Guy ROQUE (Ecrivain auteur de « De la bête humaine au TGV » Le train à la conquête de l'Histoire)

20h00 : Dîner relationnel dans Toulouse

Vendredi 3 octobre 2014

8h30 : Accueil des participants

9h15 : Interventions Entreprises :

Le pont Qatar Bahrain

Alexis BORDERON (Sté VALBRUNA)

Présentation SIPLAST : Opération de rabotage des chaussées sur OA - La fin des dégradations des complexes d'étanchéité grâce au Système Echo Detch SIPLAST

Renaud BENCHET (Sté SIPLAST)

Les nouvelles techniques d'étanchéité au service des ouvrages de génie civil ferroviaire :

➤ L'étanchéité intrados des ouvrages souterrains par système composite TECTOPROOF

➤ L'étanchéité haute des ouvrages par système PROTHEANE AC BF résine bifeutre

Eric VIMOND et Gil ESPIC (Sté ETANDEX)

10h00 : Pause café et visite de l'exposition technique

10h30 : La compatibilité des capacités ferroviaires avec les travaux importants de régénération des OA

Thomas JOINDOT (SNCF)

10h50 : Les ouvrages ferroviaires en maçonnerie murs de soutènement et ponts

Patrick VERNISSE (SNCF)

11h10 : Remplacement de ponts-rails par des moyens originaux

Romain GENOYER (SNCF)

Les manifestations nationales

11h30 : Vision Européenne : La politique de gestion du patrimoine d'ouvrages ferroviaires

Martin MUNCKE, Président du Comité Ponts Union International des Chemins de fer

12h05 : Présentation de l'AFGC

Bruno GODART, Président de l'AFGC

12h10 : Présentation du STRRES

Christian TRIDON, Président du STRRES

12h15 : Présentation de l'IMGC

Pascale DUMEZ, Vice-Présidente IMGC

12h20 : Clôture du colloque

Compte-rendus des étudiants

Pour faire participer les étudiants invités le Comité d'Organisation du Colloque leur a demandé de rédiger le compte-rendu des différentes sessions.

Nous avons reproduit six comptes-rendus rédigés par les étudiants en 5^{ème} année de l'ISA BTP – Spécialité Génie Civil et Maritime

Le pont Saint-Michel à Toulouse et le pont National à Paris

1. Réparation et renforcement du pont Saint Michel



1.1. Historique

L'histoire de la ville de Toulouse et de la Garonne a obligé la construction de plusieurs ponts St-Michel.

Le 1er pont St-Michel situé à Toulouse (31) a été construit en 1844. Ce pont suspendu fut détruit en 1875 par une crue d'une ampleur considérable. En effet, le 23 juin, le niveau de la Garonne atteignait un niveau maximum et historique de 10 m au dessus du zéro.

Pour remplacer le pont détruit, un 2^{ème} pont a été édifié en 1890. Cet ouvrage constitué d'arcs de fonte reposait sur des piles béton. Ce pont supportait 2 voies de Tramway.

A son tour détruit, il fut remplacé en 1961 par un ouvrage en béton précontraint conçu par Eugène Freyssinet qui permet le franchissement de 6 voies de circulation routière (suppression du Tramway).

1.2. Caractéristiques

L'ouvrage inférieur du pont St-Michel, situé sur le bras inférieur de la Garonne, a une longueur de 326 m divisée en 5 travées de 65,20 m. Sa largeur de 26 m permet la présence de 6 voies de circulation. Freyssinet a imaginé une structure de 10 portiques à béquilles, consoles et poutres précontraintes. Ces dernières supportent un hourdis précontraint transversalement à la portée du pont.

Depuis 1990, une campagne d'inspection de l'état de l'ouvrage a été lancée par la DDE (Direction Départementale de l'Équipement) visant à le réparer avant sa remise à la ville de Toulouse. Cette campagne comprend des inspections

détaillées, des visites subaquatiques pour vérifier l'état des piles immergées, une gammagraphie des câbles de précontrainte (émission de rayons gamma pour contrôler la qualité des pièces métalliques), une analyse métallurgique des câbles, un recacul des tabliers etc.

En 2006, suite à de longues négociations entre l'Etat et la ville de Toulouse un AVP (étude d'avant-projet) de réparation du pont a été approuvé.

Cet AVP comprend :

- la réfection de l'étanchéité,
- le remplacement des appareils d'appuis,
- le remplacement des joints de chaussée,
- le remplacement des GC (gardes-corps corrodés)
- des ragréages divers,
- la réfection de la voirie.

En 2009, le Syndicat Mixte des Transports en Commun (SMTC) décide la création d'une ligne de Tramway. Contre une compensation financière, le pont est déclassé afin de pouvoir effectuer des travaux de réparation permettant à la structure de reprendre les charges induites par le passage de cette nouvelle ligne.

L'ensemble des réparations et aménagements des Ponts St-Michel a eu un coût total de 10 M€ pour les 5 ouvrages.

2. Renforcement et élargissement du Pont National à Paris

Dans le cadre de l'extension de la ligne 3 du tramway entre la Porte d'Ivry et la Porte de Charenton, l'élargissement du pont National qui enjambe la Seine à Paris a été nécessaire. Les travaux ont consisté à réhabiliter et renforcer les structures existantes d'une part et créer une passerelle piétonne le long du pont, coté amont d'autre part



2.1. Bref historique

Le pont National de Paris date de 1853 et permettait à l'époque le passage du chemin de fer de Petite Ceinture. Il s'agissait alors d'un ouvrage de 188,5m de long comportant 5 arches en maçonnerie de 34m de portée. Un premier élargissement avait été effectué de 1936 à 1944 pour doubler le pont coté amont par la réalisation d'une structure similaire formée de 3 arcs articulés en béton armé et de pilettes en béton articulées en pied et en tête. La largeur totale atteignait alors 34m.

2.2. Déroulement du projet

Le projet a consisté à élargir le pont pour faire passer piétons et cyclistes et donner la place au tramway et automobiles en partie centrale sur 2x2 voies. La solution retenue, conçue par l'architecte Christian Devilliers a été de fixer une nouvelle structure continue en caisson métallique de 250m de long et plus de 4 m de large à l'ouvrage existant sans créer de nouveaux appuis en Seine de façon à respecter l'harmonie et

Les manifestations nationales

la légèreté de l'ouvrage. Par ailleurs, le pont a dû être consolidé du fait que les anciens trottoirs n'aient pas été conçus pour recevoir la circulation automobile.

2.3. Descriptif des travaux

2.3.1. Renforcement : Les travaux ont consisté en :

- Renforcement des arcs par entretoisement pour mieux répartir les charges.
- Renforcement des pilettes en les incluant dans un poteau en béton et en remontant les articulations.
- Remplacement du tablier par la pose d'éléments préfabriqués,

2.3.2. Elargissement:

Mise en place d'une passerelle métallique de 4,27m de largeur, et 250m de long fixé à l'ouvrage existant sans créer de nouveaux appuis en Seine.

Il s'agit d'une structure rigide et fine en caisson (semelles de 3cm d'épaisseur) constituée de 3 parties hyperstatiques, reposant sur les piles existantes du pont au moyen de 7 jambes de force en formes de V et de section en croix. Au niveau du raccord avec les piles, les jambes de forces se rassemblent en une pile en béton spécialement conçue et encastrée à l'intérieur de l'ouvrage. En partie haute, ces caissons sont suspendus au pont et stabilisés via une structure en maillons de chaîne.

Méthodologie pour le recensement des désordres et la priorisation des travaux sur un patrimoine d'ouvrages d'art ferroviaires

1. Introduction

Ce travail est une synthèse de l'exposé réalisé par Richard Vaissière (Département Laboratoire de Clermont-Ferrand, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - CEREMA) lors du Colloque « Le Pont » du Jeudi 2 Octobre 2014. Cet exposé avait pour but de décrire la démarche suivie par le CEREMA pour recenser les désordres et prioriser des travaux sur un tronçon de ligne ferroviaire.

Celui-ci a décidé de prendre comme exemple les travaux réalisés en 2010 par le CEREMA pour le compte de Réseau Ferré de France (RFF) sur un tronçon de ligne ferroviaire situé entre Saint Georges d'Aurac (Haute Loire - 43) et Langogne (Lozère - 48). Plus de 800 ouvrages sont présents sur cette portion de ligne dont cinquante tunnels ainsi qu'une trentaine de viaducs.



Viaduc de Chapeauroux

Mr Vaissiere a organisé son exposé en trois parties. Pour ce faire, il nous a brièvement parlé de l'étude de référence. Il nous a ensuite fait part de la méthodologie mise en place par le CEREMA pour mener à bien les travaux puis a fini son oral par des retours d'expérience.

2. Étude de référence

Cette étude comporte trois types d'informations :

Les attentes de RFF :

Il s'agit des informations principales qui doivent ressortir de l'étude du CEREMA. Parmi celles-ci, nous retrouvons un « indicateur de l'état du patrimoine, une évaluation financière échelonnée de la remise à niveau du patrimoine, une priorisation des actions à mener pour la remise à niveau du patrimoine et un indicateur reflétant la fiabilité de l'étude. »

Les données disponibles :

Celles-ci regroupent le plan de la ligne avec la localisation des ouvrages classés par type de structure et référencés par leur PK ainsi que les « PV des visites annuelles et d'inspections détaillées périodiques. »

La proposition du CEREMA :

Afin de répondre aux attentes de RFF et en fonction des informations recueillies, le CEREMA rendra « un rapport d'étude avec annexes fiches d'ouvrages et documents informatiques. »

3. Méthodologie

L'étude sera menée de la façon suivante.

Chaque ouvrage d'art aura son diagnostic. Pour ce faire, le CEREMA a débuté son étude en se basant sur les données fournies par la SNCF. Des visites sur des échantillons représentatifs (environ 80 ouvrages soit 10% du total) ont tout de même eu lieu de façon à valider ou non les données primaires de la SNCF. Une fois les données à jour, le CEREMA a créé une fiche d'ouvrage synthétique divisée en 4 parties :

- Un volet descriptif (dimensions, systèmes structurels),
- Un volet évaluation (désordres) de l'état de l'ouvrage,
- Un volet préconisation (actions à mener pour remettre à niveau l'ouvrage),
- Un volet priorisation et coût de remise à niveau (création d'un référentiel de prix unitaires).

Il est à noter que le CEREMA utilise le référentiel IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) pour évaluer les ouvrages.

Les données classées, le CEREMA a ensuite pu les exploiter (via une base MS EXCEL et une base MYSQL pour une utilisation sur Internet) et réaliser différentes statistiques telles que :

- La priorisation et programmation budgétaire,
- La composition du patrimoine,
- Les types et les montants des travaux,
- L'état du patrimoine (IQOA).

Les manifestations nationales

L'ensemble de ces données permet non seulement d'estimer le coût de remise à niveau de ce tronçon mais aussi d'établir un échéancier de programmation en fonction de l'urgence de la mise à niveau de l'ouvrage.

4. Retour d'expérience

Ces travaux ont été une réussite et cela pour diverses raisons :

- Les données fournies par la SNCF étaient fiables,
- Ce tronçon comportait un nombre conséquent d'ouvrages d'art assez semblables en typologie.

Cette étude a permis de mettre en place un programme fonctionnel pouvant être utilisé pour des travaux de mêmes types.

Les Tunnels du Réseau Ferré National

• Introduction

La SNCF compte un patrimoine de 1548 tunnels, 1378 de ces tunnels sont encore exploités et représentent une longueur total de 572 km. L'âge moyen de ces tunnels est de 127 ans. La valeur à neuf de ces ouvrages est de 12 milliards d'euros. Toute la problématique de la SNCF est d'appliquer une politique de gestion/maintenance en limitant les dépenses et les interruptions de trafic.

• Les structures

Les structures sont de types anciens ou modernes. Les tunnels modernes présentent une diversité de forme et de structure (circulaire, elliptique, ...) tandis que les structures anciennes se décomposent en deux grandes familles. Tout d'abord les voûtes parapluies (voûte en maçonnerie permettant de s'affranchir des venues d'eau en voute), de faible épaisseur, avec des matériaux de qualité médiocre et avec un contact incertain avec l'encaissement notamment des vides et blocages. La seconde grande famille de structures est les voutes porteuses qui sont des structures épaisses avec des matériaux et une mise en œuvre de bonne qualité.

• Les pathologies

Concernant la dégradation des tunnels ferroviaires, la SNCF a identifié deux grandes pathologies caractéristiques pour chaque type de structure :

- Voûte Parapluie : vieillissement des matériaux de la structure (phénomènes mécaniques) ;
- Voûte Porteuse : Evolution de l'encaissant, gonflement, fluage, dissolution, charges supplémentaires,... (Phénomènes mécaniques) ;
- Structure courante : Combinaison des deux phénomènes.

• Les mesures prises depuis l'accident de Vierz

Suite à l'accident de train dans le tunnel de Vierz le 16 juin 1972, des recommandations, aujourd'hui encore applicables, ont été publiées dans le journal officiel. Ces recommandations prévoient la mise en place :

- de surveillance continue des agents de la SNCF

- de surveillance périodique de spécialistes régionaux ou d'agents habilités
- de surveillance renforcée
- de visites d'experts nationaux (diagnostics et audits)

Des enquêtes régulières pratiquées après 1972 ont permis d'identifier et de classer les ouvrages détériorés. A partir de ces enquêtes un budget de maintenance des tunnels ferroviaires a pu être établi.

La cote moyenne est une représentation chiffrée de la densité des désordres répertoriés. Une première politique de régénération des tunnels a été menée en 1992 et 1993. Cette politique de régénération s'est organisée sur une classification des tunnels par nature de travaux:

- Rejointement : 70% du patrimoine total sur une période de 50 ans;
- Injections d'extrados : 80% du patrimoine circulé sur une période de 60 ans;
- Coques Béton projeté : 18% du patrimoine sur une période de 25 ans;
- Radiers : 7% du patrimoine sur 75 ans;
- Drainage assainissement: 60% du patrimoine circulé sur une période de 50 ans.

Cette classification permet ainsi de définir un montant budgétaire annuel qui est validé par la Mission d'expertise des Ouvrages d'art de la SNCF (Bois, Julien, Märki, 1994).

Suivi de l'état

Les services de la SNCF ont instaurés le principe de la cotation automatique pour surveiller l'état de dégradation des ouvrages. Il s'agit de relever les avaries sur une longueur de tunnel et en parallèle de quantifier en pourcentage l'état de dégradation de l'ouvrage. Le relevé des avaries sur l'ensemble d'un tunnel permet d'établir un pourcentage moyen de dégradation de l'ouvrage.

La SNCF a relevé lors de ses enquêtes que 80% du patrimoine est en bon état, 16% du patrimoine est dans un état moyen et 4% dans un état médiocre à très dégradé.

La particularité des ouvrages du métro parisien

1. Patrimoine des infrastructures ferroviaires

S'étalant sur 370km, le réseau parisien d'infrastructures ferroviaires requiert une surveillance et un entretien permanent pour préserver sa pérennité et assurer la sécurité de ses 5,5 millions d'usagers quotidiens. Ce dense réseau, constitué de 16 lignes de métro, 2 de RER et 5 de tramway, sillonne la capitale en souterrain (sur 275km) et en aérien (sur 20km). Les 75km restants étant exécutés en déblai/remblai. Au total, il dessert 369 stations.

Il ne reste aujourd'hui plus rien du « chemin de fer américain » à traction animale des années 1840. Les techniques constructives ont bien évoluées et l'heure est à l'automatisation du réseau. On retrouve donc une riche diversité d'ouvrages qui témoignent des changements d'époque et de modes.

- Les ouvrages souterrains (tunnels, tranchées couvertes, stations, ouvrages de raccordement et de garage) sont essentiellement (à 80%) maçonnés, ce qui témoigne de leur ancienneté. Les plus récents font appel à

Les manifestations nationales

la construction métallique, ou au béton armé ou précontraint.

- Les ouvrages aériens, des ponts et viaducs, font appel à ces mêmes matériaux, selon leur année de construction.

L'attention de Monsieur GOIRAND, du département « Gestion des infrastructures » de la RATP se tourne vers deux catégories d'ouvrages, en situation de vieillissement avancé et qui requièrent des travaux d'entretien : les tunnels en maçonnerie et les viaducs.

2. Régénération des tunnels maçonnés

Les risques de dommages sont multiples sur ces ouvrages:

- L'effondrement du tunnel constitue le risque le plus redouté depuis la catastrophe de Vierzy en 1972
- La dissolution du Gypse, qui crée des cavités dans le sous-sol parisien (elle affecte surtout la Gare du Nord et plus généralement le quart Nord-Est de Paris)
- Les dégradations (fissurations et déformations) constatées au niveau du clavage du cintre ou du cintre avec ses piédroits. L'abandon des bois de blindage (matériau putrescible) en extrados de la voûte et le défaut de butée du terrain réduisent l'autostabilité de la voûte.

A partir de ce constat, la RATP a mis en place des tests de reconnaissance des terrains et des maçonneries, avec le passage du train OA11, qui chaque nuit réalise des forages destructifs afin de déceler les éventuelles anomalies évoquées ci-avant. Les réparations sont assurées par un poste d'injection mobile qui fabrique et injecte le coulis de ciment. Chacun des préjudices décelés est alors traité :

- Pas de continuité mécanique en voûte : injection des fissures
- Présence de vides dans la maçonnerie : injection dans la maçonnerie
- Mauvais contact entre les piédroits et le terrain : injection au contact terrain
- Présence de cavité dans le sol : injections dans le sol

Les coûts engendrés par ces travaux d'entretien, débutés en 1972 et faisant échos à la catastrophe de Vierzy se montent à 500 millions d'euros, pour 330km déjà traités. Soit un coût au kilomètre de 1,5 million d'euros. Plus de 20% des travaux restent à réaliser.

3. Rénovation des viaducs

Il y a, sur Paris, environ 7,2km de viaducs métalliques. Les travées courantes sont composées de colonnes en fonte surmontées de poutres latérales. Le tablier est fait d'entretoises métalliques et de voûtains en brique. Ces viaducs sont aujourd'hui vétustes comme en témoignent les désordres apparents :

- Corrosion des parties métalliques (couvre-joints, poutres latérales)
- Dégradation des voûtains

Les infiltrations d'eau, dues à la déficience du système d'assainissement et de drainage ainsi que le vieillissement des protections anticorrosion sont les principales causes de désordre.

Les travaux de rénovation s'organisent selon le phasage suivant :

1. Travaux de voie (enlèvement des rails, du ballast, de l'étanchéité)
2. Travaux de maçonnerie sur voûtain (démolition du voûtain existant puis mise en place d'un nouveau voûtain en béton armé et hydrogommage pour obtenir l'aspect originel de la brique)
3. Travaux de métallerie et peinture (fixation de nouveaux couvre-joints d'âme, soudure de nouveaux goussets...)
4. Travaux d'étanchéité et d'assainissement (mise en place de nouvelles barbacanes, décapage à haute pression de la surface du tablier, application de la nouvelle membrane d'étanchéité, sablage des poutres, remise en peinture anticorrosion)
5. Travaux d'installation de la nouvelle voie (installation d'un géotextile, reballastage puis repose de la voie)

En termes comptables, une opération de rénovation de viaduc coûte entre 15 et 20 millions d'euros et nécessite l'équivalent de trois ans de préparation en amont (pour une opération de deux mois à peine étalée sur 500 à 800m linéaires). Concrètement, les coûts de rénovation peuvent être divisés comme suit

- Travaux de Génie Civil : 10 millions d'euros
- Voie, signalisation et alimentation électrique : 6 millions d'euros
- Bus de substitution : 2 millions d'euros
- Communication : 0,3 millions d'euros

Les projets de rénovations de viaducs fleurissent à intervalles de temps réguliers depuis 1997. De nouveaux projets de rénovation sont lancés depuis cette année par le secteur de Gestion des Infrastructures de la RATP et devraient durer jusqu'en 2020.

Le pont est aujourd'hui en service depuis plus d'un an.

Pathologies spécifiques des ouvrages ferroviaires

1. Introduction

Toutes les structures, qu'il s'agisse de grands ouvrages ou d'ouvrages de moindre importance font l'objet d'avaries. Il y a des types d'avaries qui sont fréquents et qui peuvent provoquer une rupture brutale. On trouve ce type d'avaries dans le monde ferroviaire mais également sur d'autres types d'ouvrages.

Tous les codes et en particulier les Eurocodes doivent constituer un « vaccin » face à ces avaries. Cette prévention se fait en amont, en identifiant les causes des désordres survenus sur des structures existantes.

En ferroviaire, les convois ont une géométrie très régulière ce qui accentue les phénomènes de résonance et de fatigue. Vient s'ajouter à cela les effets liés à la vitesse. Dans cette synthèse, on va s'intéresser à ces causes conduisant aux pathologies rencontrées dans les ouvrages ferroviaires et pouvant provoquer la ruine.

2. Fréquences d'excitations et phénomène de résonance

Une voie ferrée peut être caractérisée par les fréquences d'excitation créées par la circulation des trains l'utilisant. Chaque type de train possède sa propre signature

Les manifestations nationales

fréquentielle. On peut alors décomposer ces signatures en longueurs d'onde λ de l'excitation du pont.



Chaque objet tend à vibrer à une fréquence particulière appelée fréquence naturelle. Lorsque la fréquence d'excitation émise par le train coïncide avec la fréquence naturelle de l'ouvrage, on a le phénomène appelé « résonance ». Elle est liée à la vitesse du convoi mais aussi à la régularité et à la répartition du chargement. Pour le pont de Tacoma par exemple, la fréquence propre de la structure du pont correspondait précisément à la fréquence de détachement des tourbillons du vent. On peut également s'appuyer sur un exemple simple qui est celui de la balançoire où l'énergie de chaque poussée s'ajoute à l'énergie totale à condition de pousser au moment le plus propice.

Ainsi, si l'on fait franchir le pont par un convoi régulièrement configuré, on obtient des déformations beaucoup plus importantes.

3. Amplification dynamique

Il existe un coefficient de majoration dynamique qui est un phénomène directement imputable à la vitesse. Lorsqu'un pont est soumis à un chargement dynamique, on obtient l'amplification de la déformation du pont en fonction de la vitesse à l'aide de formules précisées dans les règlements actuels. Les réponses vont être différentes selon l'amortissement de la structure en fonction de sa géométrie et de sa composition, autrement dit, la capacité que possède la structure à dissiper l'énergie qui lui est transmise.

4. La fatigue

La principale avarie des structures métalliques ferroviaires est en général due à la fatigue. Le premier accident correspondant à un endommagement par fatigue ne fut pas sur un pont mais sur un essieu de train (1842). On a souvent l'impression que la structure va périr par corrosion alors que la principale avarie des structures métalliques ferroviaires est en général la fatigue.

La fatigue est liée à des variations de contraintes dues au défilement et à la variation des charges. Au passage d'un train on a ainsi quelques dizaines de cycles de contrainte. Cette succession est la principale génératrice de pathologies, tant pour le pont que pour la voie ferrée.

En résumé, la fatigue correspond à une dégradation progressive mais sans déformation apparente. A partir d'un défaut initial et au fur et à mesure des cycles de chargement/déchargement, celui-ci va s'amplifier jusqu'au

moment où suffisamment de matière aura été endommagée. La matière restante ne pourra alors plus reprendre les charges auxquelles la structure sera soumise et on aura une avarie de fatigue qui provoque une ruine brutale.

La tâche ovale illustre bien ce phénomène. Cette tâche s'apparente à du polissage. La matière qui s'est séparée en deux sous l'effet des micros-déformations (au niveau atomique) frotte ses deux faces l'une contre l'autre lors de ces cycles de chargement/déchargement. Ainsi, sans que rien ne soit visible de l'extérieur (pas de fissuration extérieure ou de déformation visible), la matière existante s'endommage petit à petit.

5. Conclusion

De nos jours, il existe des outils qui permettent de dimensionner les ouvrages à la fatigue et la meilleure façon de le faire reste « d'épanouir les contraintes » c'est-à-dire les diffuser.

Les pathologies des ouvrages métalliques sont essentiellement liées à la répétition des charges auxquelles viennent s'ajouter l'effet de la vitesse et de la vieillesse de l'ouvrage.

Réhabilitation et réfection anti-corrosion d'un viaduc type « Eiffel » : Exemple du viaduc de Rouzat (Ligne Clermont Ferrand - Montluçon)

A l'occasion de cette journée consacrée à la thématique du génie civil ferroviaire, R. Leconte de la société DIADES a présenté les méthodes de réhabilitation et de réfection d'un ouvrage de type « Eiffel » soumis à la corrosion. La présentation portait sur les quatre viaducs métalliques emblématiques suivants :

- Le Viaduc de Rouzat, classé monument historique depuis 1965, est composé de trois travées de 55,125 m, 57,750 m et 49,125 m. La hauteur importante des piles (45m) induit un effort au vent important qui exige un contreventement par arbalétriers en pied de pile.
- le Viaduc de Neuvial, est composé de deux travées de 49,125 m. Son tablier est composé d'une poutre caisson treillis de type Eiffel et l'intérieur de son tablier est composé de croix de Saint André.
- le Viaduc de la Bouble est un viaduc à 6 travées de 50m supportées par des piles de 55m rigidifiées par des arbalétriers en leur base.
- Le Viaduc du Bellon est composé de 3 travées de 40m, 48m et 40m. Son tablier en structure treillis présente une épaisseur de 4,5m.

Les diagnostics opérés sur ces ouvrages ont permis de déterminer leur état général, leur aptitude à satisfaire le service attendu et les mesures de renforcement à mettre en œuvre. Les études menées ont également permis de comparer les coûts des renforcements et du maintien en l'état actuel.

La principale problématique relevée par M. Leconte est le peu d'informations sur les matériaux utilisés et l'historique des ouvrages présentant des pathologies. De nombreuses données sont manquantes telles que la géométrie réelle de l'ouvrage, l'historique des travaux, ou encore les valeurs des charges employées pour sa conception.

Les manifestations nationales

Pour pallier ce manque d'informations, la première étape fut la reconstitution des plans afin de recalculer la résistance de l'ouvrage. Les mesures effectuées de jour comme de nuit pendant un mois ont notamment permis de reproduire la totalité du viaduc en 3D, améliorant ainsi la vision d'ensemble de l'ouvrage.

En plus de renseigner les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, les inspections de l'ouvrage ont permis de répertorier des pathologies majeures : fissurations, têtes de rivet manquantes, abîmées, corrodées ou encore déformées.

Les relevés et diagnostics des ouvrages ont aussi été complétés :

- de contrôles magnétoscopiques des zones les plus sensibles (contreventements, ...).
- d'un diagnostic anti-corrosion comprenant un échantillonnage (19 échantillons) dans les zones les plus sollicitées. La réalisation de tests chimiques a permis de déterminer la compatibilité des métaux soudés entre eux, en prévision d'un éventuel renforcement local. Ces essais en laboratoire ont également renseigné sur la nature des peintures employées (présence de métaux lourds (plomb) sur plusieurs couches de peintures.
- de chargements d'essais.
- d'un modèle numérique de l'ouvrage qui, calibré grâce à des mesures de rotation sur appuis et des mesures de flèches, a mis en évidence le problème de la prise au vent de l'ouvrage en présence d'échafaudages bâchés, la résistance à la fatigue de l'ouvrage et la détermination du nombre de passages journaliers maximum.

Cette étude a permis de diagnostiquer des problèmes tels que la déconsolidation des rivets, la perte de matière due à la corrosion essentiellement, le flambement de certains éléments et a permis de conclure quant à la nécessité de renforcer ces ouvrages.

Cette phase a défini certains travaux d'urgences tels que le traitement total ou partiel d'éléments selon leur endommagement, des purges, la réfection de l'étanchéité ou bien le traitement de la corrosion. Pour des raisons de protection environnementale, les travaux réalisés sur les ouvrages ont été réalisés sous confinement avec un traitement de l'air chargé en plomb provenant des peintures existantes.

Il est aussi bon de noter qu'aux difficultés techniques de réparation des ouvrages s'ajoutent parfois des contraintes environnementales telles que la préservation des chauves-souris établies dans les appuis du Viaduc de Bellon.

Conclusion: Les viaducs métalliques ferroviaires sont souvent des structures vieillissantes présentant de nombreuses pathologies. Les nombreuses contraintes techniques, environnementales et financières très présentes sur ces ouvrages massifs rendent difficile la réalisation des travaux de réparation ou de renforcement. De plus, les données manquantes sont nombreuses et ces ouvrages sont constamment exploités. Il est donc nécessaire aujourd'hui de réfléchir à des méthodes de maintenance de ces infrastructures pouvant s'affranchir au maximum de ces contraintes.