

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

LGV RHIN-RHÔNE. UNE APPROCHE NOVATRICE. L'INTEGRATION ARCHITECTURALE. LE PROJET TECHNIQUE DE GENIE CIVIL. LES TERRASSEMENTS ET LES DIFFICULTES RENCONTREES. LES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA SAONE. LES VIADUCS FERROVIAIRES DU TRONCON B. VIADUC DE LA LIZAINE. TUNNEL DE CHAVANNE. VIADUC DE LA SAVOUREUSE. LES EQUIPEMENTS FERROVIAIRES. LA DEUXIEME PHASE DE LA LGV BRANCHE EST

N° 892 NOVEMBRE 2012



LGV RHIN-RHÔNE -
VIADUC DE LA LINOTTE -
ORMENANS (70)
© RFF/PHOTO LAB
SERVICES

LES TRAVAUX
PUBLICS
FÉDÉRATION
NATIONALE

UN SEUL FOURNISSEUR POUR
LA STABILISATION DE SOLS.



Close to
our customers



COMPACTEURS MONOBILLES HAMM.



STABILISATRICES DE SOLS WIRTGEN.



ÉPANDEURS DE LIANTS STREUMASTER.



Une gamme de compacteurs monobilles de 5 à 25 tonnes – pour un compactage final de qualité.



Des stabilisatrices de sols adaptées à toutes les situations, en version automotrice ou tractée – pour une haute qualité de malaxage.



Une offre complète d'épandeurs automoteurs, tractés ou à monter sur tous types de véhicules – pour une grande précision d'épandage.



ROAD AND MINERAL TECHNOLOGIES

www.wirtgen-group.com/soilstabilization



WIRTGEN FRANCE

Wirtgen France SAS
7, rue Marc Seguin · BP 31633 · 95696 Goussainville Cedex
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49
e-mail : contact@wirtgen.fr - www.wirtgen.fr

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directeur délégué**
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : morgenthalerm@fnfp.fr**Comité de rédaction**
Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Datry
(Setec TPI), Stéphane Monleau
(Solétanche Bachy), Louis Marracci
(Bouygues), Jacques Robert (Arcadis
ESG), Anne-Sophie Royer (Vinci
Construction Grands Projets),
Claude Servant (Eiffage TP), Philippe
Vion (Systra), Jean-Marc Tanis (Egis),
Michel Duviard (Egis), Florent Imberty
(Razel), Michel Morgenthaler (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro**
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
Email : revue-travaux@cometcom.frFrance (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité**
Emmanuelle Hammaoui
9, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41
Email : ehmmaoui@fnfp.fr**Site internet : www.revue-travaux.com****Réalisation et impression**
Com'1 évidence
Immeuble Louis Vuitton
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50
Email : contact@com1evidence.comLa revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957, qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

ACHEVER LA LGV RHIN-RHÔNE : UN IMPÉRATIF DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE À L'ÉCHELLE EUROPÉENNE



© DRP

Le projet de LGV Rhin-Rhône est une longue aventure rythmée de combats. Dès le milieu des années 80, j'avais compris avec Jean-Pierre Chevènement que si nous ne nous mobilisions pas, cette ligne, qui a pour caractéristique de ne pas être centrée sur Paris, serait écartée. À travers l'association Trans-Europe TGV Rhin-Rhône Méditerranée, que j'ai présidée pendant 10 ans, notre objectif a donc été de convaincre que les deux LGV Est et Rhin-Rhône n'étaient pas en concurrence mais bien complémentaires, et que toutes deux participaient à arrimer la France du Nord et du Sud à une Europe moderne de la grande vitesse.

Le lancement, en 2006, des travaux de la 1^{re} phase a permis de placer Mulhouse au cœur d'un nœud intermodal européen en faisant de notre agglomération un véritable hub de la grande vitesse, plaçant le Sud Alsace à 2h40 de Paris, 2h50 de Lyon, 1h20 de Zürich et 3h de Francfort. L'agglomération mulhousienne s'est par ailleurs préparée pour démultiplier l'effet TGV au bénéfice de tous, par la réalisation de deux lignes de tramway et d'un tram-train irrigant la vallée de Thann, en aménageant le quartier d'affaire Gare « Vert et Eau » qui accompagne la redynamisation du centre historique voulue par le Maire de Mulhouse Jean Rottner à travers son projet « Mulhouse Grand Centre », et à découpler l'effet TGV par un travail participatif des habitants mobilisés au sein du Club TGV Mulhouse Alsace. À cela s'ajoute la réouverture du service

voyageurs sur la ligne ferroviaire entre Mulhouse et Freiburg.

La dynamique en cours doit maintenant conduire à la réalisation de deux chaînons manquants : le raccordement ferroviaire à l'aéroport international Bâle-Mulhouse et la 2^e phase de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône. Ces deux compléments d'infrastructure doivent permettre à l'EuroAirport de répondre à sa destinée d'aéroport régional et international des dijonnais et des bisontins. Quant à l'achèvement de la Branche Est, c'est l'équilibre socio-économique de la LGV Rhin-Rhône qui en dépend, au point que certaines dessertes qui sont actuellement en service sur la 1^{re} phase seraient menacées dans le cas de son inachèvement. Seule la réalisation de la 2^e phase permettra d'optimiser le gain de temps, la rentabilité de l'infrastructure et la réalisation d'un pôle intermodal cohérent entre la route, le rail et l'aérien.

J'agis donc aujourd'hui pour inciter l'État à respecter les engagements qu'il a pris en signant en janvier 2012, au côté des autres partenaires, le protocole d'intention de financement de la 2^e phase de la branche Est. Le calendrier doit être tenu !

JEAN-MARIE BOCKEL
PRÉSIDENT DE MULHOUSE ALSACE AGGLOMÉRATION
SÉNATEUR DU HAUT-RHIN
ANCIEN MINISTRE

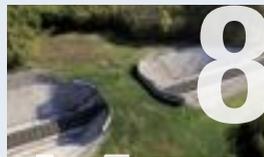


LGV

RHIN-RHÔNE

LE VADUC DE LA LIZAINE : COFFRAGE DE LA VOUTE DE LA PILE P7 © DR





8

UNE APPROCHE NOVATRICE
avec la prise en compte
de l'environnement humain
et naturel très en amont



14

**L'INTÉGRATION
ARCHITECTURALE**



19

**LE PROJET TECHNIQUE
DE GÉNIE CIVIL**



24

LES TERRASSEMENTS
et les difficultés géotechniques
rencontrées



28

LES TERRASSEMENTS
et le traitement du risque cavités



34

**LES OUVRAGES
DE FRANCHISSEMENT
DE LA SAÔNE**



38

**LES VIADUCS
DU TRONÇON B**



44

**LE VIADUC
DE LA LIZAINE**



52

**LE TUNNEL
DE CHAVANNE**



58

**LE VIADUC
DE LA SAVOUREUSE**



66

**LES ÉQUIPEMENTS
FERROVIAIRES**
De la conception
à la passation des marchés



69

**LES ÉQUIPEMENTS
FERROVIAIRES**
De la réalisation des travaux
aux essais



72

**LA DEUXIEME
PHASE**







VIADUC DES EPENOTTES

IMPLANTÉ près de Vyans-le-Val, Haute-Saône (70), ce viaduc, conçu par Setec, a été réalisé par Eiffage TP. Long de 450 m, il franchit un vallon boisé d'accès difficile. Ses travées de 54 m entre piles d'une hauteur atteignant 40 m permettent de limiter l'empreinte sur l'environnement. Eiffage TP a développé une conception innovante, proposée en cours d'exécution du marché : intégrer des Ressorts Amortisseurs Précontraints (RAP) à la culée point-fixe de l'ouvrage. Ce procédé a permis de réduire considérablement les fondations de cette culée initialement prévues par quatre puits profonds. La démarche a nécessité d'établir un dossier d'innovation soumis à l'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF) et validé par lui. Le principe détaillé des RAP a fait l'objet d'un précédent article dans la revue Travaux (n° 860 avril 2009).





Train d'essai
sur la LGV
Rhin-Rhône.



LGV RHIN-RHÔNE BRANCHE EST PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET



Le projet de la LGV Rhin-Rhône a été financé à hauteur de 32 % par l'État, 28 % par RFF, 28 % par les collectivités locales, 9 % par l'Union Européenne et 3 % par la Suisse, pour un investissement global de 2,312 milliards d'euros. Ce projet illustre l'importance que l'État accorde au ferroviaire pour soutenir l'activité économique et développer l'emploi en France. Le respect de l'environnement et le souci d'un développement équilibré et durable du territoire ont été les principales priorités liées à la LGV Rhin-Rhône.

La LGV Rhin-Rhône est une ligne profondément interrégionale et européenne, constituée de 3 branches. La branche Est relie Dijon à Mulhouse, et se poursuit en direction de Dijon et Montbard avec la branche Ouest, tandis que la branche Sud vise à rejoindre Lyon par Bourg-en-Bresse.

La branche Est permet une double fonctionnalité de dessertes. Sur un axe Est-Ouest, elle rapproche la Suisse alémanique, l'Alsace et la Franche-Comté de Paris, et au-delà de Londres et de Bruxelles, et sur un axe Nord-Sud, elle densifie le lien province-province, en rapprochant Strasbourg de Lyon, et au-delà Francfort de la Méditerranée. En ce sens, la LGV Rhin-Rhône branche Est est une véritable innovation territoriale, et un symbole fort en termes d'aménagement du territoire.

C'est également une ligne intégrée au cœur de l'Europe, classée liaison prioritaire au titre des réseaux de transports européens, et cofinancée par l'Union Européenne et la Suisse.

Le projet de la LGV Rhin-Rhône branche Est a été séquencé en 2 phases :

- **Une 1^{re} phase de 140 km** entre Villers-les-Pots en Côte d'Or (21) et Petit-Croix dans le Territoire de Belfort (90), mise en service le 11 décembre 2011, et dédiée uniquement au transport de voyageurs, à une vitesse commerciale de 320 km/h ;
- **Une 2^e phase de 50 km**, composée de 2 sections aux extrémités Est et Ouest de la 1^{re} phase, sur laquelle les missions de Réseau ferré de France consistent actuellement à terminer les études techniques et économiques.

À sa mise en service, la LGV Rhin-Rhône branche Est 1^{re} phase a généré des gains de temps importants, avec par exemple, des bénéfices :

- D'une 1h05 sur les liaisons Strasbourg - Lyon, qui s'effectuent, pour les plus rapides, en 3h40 au lieu de 4h45 ;
- De 30 minutes sur les liaisons Paris - Mulhouse, qui s'effectuent en 2h40 au lieu de 3h10 ;
- De 1h35 sur les liaisons Paris - Belfort/Montbéliard, qui s'effectuent en 2h15 au lieu de 3h50.

La 2^e phase de la LGV Rhin-Rhône branche Est permettra d'améliorer encore les temps de circulation sur les trajets Mulhouse - Paris, ainsi que sur les liaisons de l'axe Nord/Sud du type Strasbourg - Lyon.

Deux gares nouvelles ont également été créées - Besançon Franche Comté TGV dans le Doubs (25) et Belfort Montbéliard TGV dans le Territoire de Belfort (90) - dans lesquelles transitent plus d'1 million de voyageurs par an et par gare.

ABDELKRIM AMOURA
DIRECTEUR RÉGIONAL
DIRECTION RÉGIONALE BOURGOGNE/FRANCHE-COMTÉ



1

UNE APPROCHE NOVATRICE AVEC LA PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT HUMAIN ET NATUREL TRÈS EN AMONT

AUTEURS : ANNE PETIT, RESPONSABLE DU SERVICE ENVIRONNEMENT RFF - ANTOINE HANTZ, CHARGÉ DE MISSION ENVIRONNEMENT RFF - ÉRIC WEBER, RESPONSABLE ENVIRONNEMENT PHASE ÉTUDES, SETEC - PIERRE ROCHE, CHARGÉ ENVIRONNEMENT SUR SITE DES TRONÇONS A ET C, SETEC - FRANÇOIS PICH, RESPONSABLE ENVIRONNEMENT EGIS - © PHOTOS : RFF/PHOTOLAB SERVICES, OGE, ANNE PETIT, MICHEL STURZEL

DÈS L'ORIGINE DU PROJET, DE NOMBREUSES ÉTUDES ET PLUSIEURS PROCÉDURES RÉGLEMENTAIRES ONT ÉTÉ MENÉES POUR QUE LES RIVERAINS, L'EAU, LA FAUNE ET LA FLORE SOIENT PRIS EN COMPTE ET PROTÉGÉS DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION DE LA FUTURE LIGNE. TOUT A ÉTÉ FAIT POUR QUE LA LGV RHIN-RHÔNE BRANCHE EST S'INTÈGRE AU MIEUX DANS SON ENVIRONNEMENT, QU'IL SOIT HUMAIN OU NATUREL. LE TRIPTYQUE « ÉVITER, RÉDUIRE, COMPENSER » TRÈS EN VOGUE AUJOURD'HUI A ÉTÉ APPLIQUÉ SUR CE PROJET, DÈS 1993, AVANT MÊME SA DIFFUSION DANS LES TEXTES RÉGLEMENTAIRES ET DANS LES PRATIQUES ACTUELLES DE RÉALISATION DE PROJET.

UNE CONCERTATION AU CŒUR DES TERRITOIRES

La LGV Rhin-Rhône branche Est, mise en service le 11 décembre 2011, est le premier projet province-province situé au cœur de l'Europe et piloté régionalement par une direction d'opérations implantée à Besançon.

Projet essentiel pour l'aménagement du territoire et l'organisation des transports ferroviaires européens, la ligne à grande vitesse (LGV) Rhin-Rhône, rime également avec développement durable et essor économique.

Elle constitue la première liaison grande vitesse « province-province ». Ce cas de figure inédit dans le schéma d'organi-

1- Passage à faune.

1- Animal crossing.

sation des transports ferroviaires français a nécessité un pilotage adapté : la coordination et le suivi des études sont assurés localement depuis plus de quinze ans. Cette proximité et cette connaissance du terrain ont été des éléments facilitateurs dans l'explication du projet aux riverains. Trois équipes projet présentes depuis plusieurs



2

années étaient régulièrement sur le terrain, en contact direct avec les riverains, les associations et les maires des communes concernées par le projet. Cette concertation a permis de préciser ou d'adapter certains aménagements réalisés dans les communes : rétablissements de chemins et d'écoulements, aménagements fonciers, merlons acoustiques et paysagers... Les équipes de projet de Réseau Ferré de France ont ainsi mené plus de 1 500 réunions sur le terrain en phase études comme en phase chantier, avec l'implication des entreprises chargées des travaux. Les associations ont également été largement intégrées à cette démarche de concertation permettant ainsi de préciser certaines mesures et d'affirmer la

2- Protection acoustique sur un ouvrage de la LGV Rhin-Rhône.

3- Réunion publique en présence d'élus.

2- Noise barrier on a bridge of the Rhine-Rhone high-speed rail line.

3- Public meeting in the presence of the authorities.



3

politique environnementale du projet. Un comité de suivi environnemental du projet a été mis en place, présidé par le Secrétaire Général des Affaires Régionales de la Région Franche-Comté (figure 3).

Une collaboration active avec les services de l'État a permis de veiller au bon respect de la réglementation et des procédures liées à un projet de cette ampleur : archéologie, loi sur l'eau, défrichement, installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi qu'au respect de l'environnement lors du suivi du chantier.

UN VÉRITABLE MANAGEMENT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

L'INTÉGRATION ET LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT DÈS L'ORIGINE DU PROJET : UN ENGAGEMENT FORT DE RFF

Les différentes phases d'études de ligne nouvelle ont comporté, au-delà des volets technique et socio-économique, des recensements des enjeux environnementaux à des échelles de plus en plus précises. Une fois les grands enjeux identifiés (zones naturelles protégées réglementairement ou très sensibles, zones d'habitat dense, zones humides et inondables, contraintes techniques type Seveso, réseaux, forêts de protection, zones agricoles AOC, etc) à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), les études ont conduit à identifier le passage du projet ayant le moindre impact environnemental.

Une priorité : limiter le bruit et insérer la ligne dans son environnement

Dès sa conception, le choix du tracé a privilégié l'éloignement des habitations. Au final, les 140 km du tracé définitif, mis en travaux en 2006, traversent majoritairement des zones agricoles (60% du linéaire) et boisées (environ 40%) ; et seulement dix bâtiments sont directement impactés.

Réseau Ferré de France a accordé une attention toute particulière au bruit généré par la circulation des trains une fois la ligne mise en service.

Des simulations précises ont été conduites, intégrant plusieurs paramètres comme le sens du vent ou le relief du terrain et un trafic plus important que celui prévu à la mise en service, afin de prendre en compte la progression du trafic dans les années à venir.

Les résultats ont ainsi permis de définir et d'aménager, en concertation avec les mairies, les protections acoustiques nécessaires et les aménagements paysagers permettant une meilleure intégration de la ligne dans son environnement (figure 2).

Préserver l'eau et les espèces protégées

Toutes les zones environnementales sensibles et à fort enjeu ont été préservées. Les études environnementales détaillées réalisées depuis 2003 ont cependant révélé la présence d'espèces animales rares ou protégées à proximité de la future ligne. Il s'agit essentiellement d'espèces d'amphibiens et de chauve-souris.

Pour chacune d'elles, RFF a prévu des aménagements adaptés à leur mode de vie. Des mares de substitution ont ainsi été mises en place, avant le démarrage des travaux, pour les batraciens (crapauds sonneurs à ventre jaune, rainettes vertes, grenouilles rousses, etc.). Des plantations de haies et d'arbres de haute tige accompagnent les rétablissements de chemin et permettent également aux chauves-souris d'éviter d'éventuelles collisions avec les trains. Des passages ont été aménagés pour la grande faune (figure 1) : passages spécifiques ou passages mixtes avec des rétablissements de chemins d'exploitation agricole ou forestière ou avec des cours d'eau et passages pour la petite faune (buses sous la voie et banquettes aménagées à l'intérieur des ouvrages hydrauliques).

Concernant l'eau et les milieux aquatiques, le projet a été aménagé pour limiter l'impact en zone inondable, ▷



4



5

garantir la qualité de l'eau et respecter les espèces vivant en milieu aquatique, en liaison avec les Missions Inter-Services de l'Eau, les services de Police de l'Eau et les Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

UNE ÉQUIPE DE 25 PERSONNES DÉDIÉE AU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT PENDANT TOUTE LA PHASE CHANTIER

Le management de projet mis en place sur la LGV Rhin-Rhône branche Est s'articule autour du pôle environnement de RFF, du pôle environnement du maître d'œuvre et de l'entreprise. En plus de ce dispositif classique, trois bureaux d'études spécialisés ont été mandatés par RFF pour assurer un contrôle extérieur en environnement (vérification des dispositifs d'assainissement, clôtures, mesures de qualité des eaux, bruit et poussières, etc). 25 personnes étaient exclusivement dédiées au suivi environnemental du chantier (figure 5).

RFF a imposé dans les marchés de génie civil et d'équipements ferroviaires, pour chaque lot de travaux, la présence d'un chargé environnement à temps plein et rattaché hiérarchiquement à la direction de travaux.

Une notice de respect de l'environnement (NRE) a été jointe dans tous les marchés : elle présente les enjeux environnementaux du projet, les engagements du maître d'ouvrage en matière de respect de l'environnement et les mesures à mettre en œuvre pendant la phase travaux. Pour chaque lot de travaux, le chargé environnement doit élaborer un Plan d'Action Environnement (PAE) et des procédures particulières pour chaque thématique abordée : bruit, déchets, assainissement de chantier, prélèvement d'eau, etc...

Un journal Environnement est tenu par le chargé environnement qui y consigne tous les événements liés au chantier et le suivi des documents administratifs. Des pénalités fortes sont appliquées par RFF en cas de non-respect de l'environnement, avec trois niveaux selon la gravité de l'incident.

Le service Environnement de RFF a mis en place des réunions inter-entreprises qui permettaient de confronter les points de vue et les méthodes, d'apporter un retour d'expérience et d'améliorer les pratiques et le respect de l'environnement sur le chantier.

DES INNOVATIONS AU CŒUR DU PROJET LE PREMIER BILAN CARBONE® FERROVIAIRE GLOBAL D'UNE LIGNE À GRANDE VITESSE

Dès 2007, de manière à évaluer sa responsabilité en matière d'émissions de gaz à effet de serre et de s'inscrire dans une démarche d'anticipation vis à vis des futures demandes de l'État par le Grenelle de l'environnement, RFF a réalisé ce premier Bilan Carbone® ferroviaire global, en partenariat avec la SNCF et l'ADEME.

Ce Bilan Carbone® de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône avait vocation à être intégré dans le bilan développement durable du projet et à permettre un retour d'expérience pour les autres projets.

RFF a créé un groupe de travail en associant la SNCF et l'ADEME pour définir et valider le périmètre du bilan, la méthodologie et le cahier des charges de l'étude, ainsi que les résultats.

Le principe d'une association de la SNCF à ce projet a été proposé afin que le Bilan Carbone® soit le plus complet possible en intégrant les gares nouvelles, les équipements et les opérations de maintenance/renouvellement.

5- Une équipe de 25 personnes dédiée au suivi de l'environnement pendant toute la phase chantier.

5- A team of 25 people dedicated to environmental monitoring throughout the site works phase.

→ Aller au-delà de l'évaluation « socio-économique » des gaz à effet de serre (valorisation monétaire des gains de CO₂ en phase exploitation) en intégrant la phase conception/travaux ;

→ Anticiper la demande de l'État et une éventuelle nouvelle réglementation ;

→ Valoriser l'atout du rail vis-à-vis de la problématique transport et changement climatique.

Les résultats de ce premier bilan carbone ferroviaire global ont été présentés lors d'un colloque à Besançon le 25 septembre 2009 et ont mis en évidence que la LGV devenait carbone positive au bout de 12 années d'exploitation, c'est-à-dire que les émissions évitées par le report modal des voyageurs qui auront préféré le train à la voiture ou à l'avion, prendront le pas sur les émissions produites par la conception, la construction et l'exploitation-maintenance de la ligne. Sachant que ces bénéfices environnementaux se poursuivront bien au-delà des trente années de références prises en compte dans les calculs, la durée de vie d'une telle infrastructure étant d'une centaine d'années.

La réalisation de ce bilan a également permis de créer un outil standard pour les projets ferroviaires afin de disposer d'un référentiel transposable aux autres projets en chantier ou en étude.

Le périmètre de l'étude a été défini en 3 phases :

→ Phase conception/études : énergie (eau, climatisation), papier, déplacement du personnel, matériel bureautique...

→ Phase travaux (de la LGV, des gares nouvelles, de la base maintenance) : matériaux entrants (rails, ballast, ouvrages d'arts, génie civil...), déboisement, transport de matériaux, ...

→ Phase exploitation : transport (trafics et report modal), maintenance/entretien, renouvellement, énergie, déchets...

Les enjeux de ce bilan étaient multiples :

→ Répondre à une demande récurrente lors des débats publics sur les grands projets d'investissement ferroviaires ;

UN EXEMPLE DU PLAN D'ACTION

Les pistes de réduction consistent également à comparer - dès la phase amont - les différentes variantes d'ouvrages d'art afin de déterminer les procédés de construction les moins émetteurs de carbone - en étudiant tout particulièrement les variantes mettant en œuvre des bétons haute performance.



6

LA MISE EN PLACE D'UNE CLAUSE SOCIALE DANS LES MARCHÉS

Une démarche novatrice

→ Une opportunité à saisir en matière d'emploi : un projet de cette envergure est une formidable opportunité pour l'économie de la région concernée. Pendant les travaux de construction de la ligne à grande vitesse Rhin-Rhône, de très nombreuses entreprises régionales ont bénéficié des retombées directes et indirectes du chantier. Plusieurs d'entre elles étaient déjà intervenues sur des opérations de déviation de réseaux et de déboisement, d'autres ont été retenues comme sous-traitantes par les groupes de travaux publics qui réalisent la construction de la ligne. Au-delà du secteur des travaux publics, le chantier a également eu des retombées économiques importantes sur les départements traversés, notamment pour les commerces et services divers comme l'hôtellerie, la restauration, l'en-

6- 7% du temps de travail sur le chantier consacré à l'insertion.

7- Mare de substitution.

6- 7% of working time on the site devoted to integration.

7- Artificial pond.

tretien, la maintenance, les garages. Au total, ce sont plus de 6 000 emplois qui ont été mobilisés pendant les cinq années de travaux, dont 4 000 de manière directe sur le chantier. → 7 % du temps de travail sur le chantier consacré à l'insertion : une attention toute particulière a été portée à l'emploi et notamment à l'insertion des personnes en difficultés. Deux ans avant le démarrage des travaux, RFF

a travaillé avec les services publics de l'emploi, les organismes de formation professionnelle et les fédérations de travaux publics pour préparer l'arrivée du chantier. Ainsi, des stages de formation ciblés ont été organisés en fonction des postes à pourvoir et des métiers retenus.

En termes de retour à l'emploi, RFF a mis en œuvre une politique volontariste pour permettre de favoriser le recrutement par les entreprises de personnes en situation de précarité ou en difficulté d'insertion. Une clause sociale a été intégrée dans les contrats des entreprises de terrassements et d'ouvrages d'art pour que 7 % du temps de travail global soit assuré par des personnes en insertion (figure 6).

Un bilan positif

La clause sociale a rencontré un vif succès : en moyenne plus de 10 % du temps de travail global a été assuré par des personnes en insertion, avec parfois même des pics mensuels atteignant 30%.

Au total, 6 100 emplois ont été générés par an (2 300 directs/2 300 indirects/1 500 induits). Parmi ceux-ci :

- 989 personnes ont été bénéficiaires de la clause sociale ;
- 3 112 personnes ont été recrutées par la cellule emploi LGV sur les 5 ans du chantier ;
- 549 personnes ont pu être formées.

DES COMPENSATIONS EN FAVEUR DE LA BIODIVERSITÉ

Un programme de compensation des zones humides

Les arrêtés d'autorisation inter-préfectoraux au titre de la loi sur l'eau obtenus en 2006 imposaient au maître

d'ouvrage de compenser à surface et à qualité équivalente les zones humides impactées par la ligne nouvelle, soit 125 hectares. Un processus de recherche et de validation a donc été mis en place par RFF avec différents acteurs et notamment les assistants fonciers et la SAFER. Un système de fiche permettait aux services de police de l'eau de disposer de tous les éléments nécessaires à la validation de la proposition de zone humide : éléments fonciers, intérêt patrimonial de la zone, propositions de travaux ou d'acquisition. La recherche de terrains s'est faite parallèlement à la phase chantier, le long de la ligne, mais aussi plus loin dans les départements impactés, car il est difficile de trouver des terrains et des projets à réhabiliter. Au final, la compensation a été largement atteinte, avec plus de 140 hectares trouvés. Acquisition de parcelles, travaux et rétrocession à des associations de protection de l'environnement, conventionnement avec des agriculteurs pour un retour à l'herbe ou une fauche tardive, reconversion de terrains cultivés en prairies, les solutions ont été multiples et variées (figure 7).

Un programme de mesures supplémentaires de 4,57 millions d'euros en faveur de l'environnement

La mise en place d'un programme de mesures supplémentaires en faveur de l'environnement était une première pour une ligne ferroviaire à grande vitesse ; elle a permis la réalisation d'actions en plus des mesures mises en œuvre dans le cadre des obligations réglementaires (mesures compensatoires du projet, mesures compensatoires au titre de la loi sur l'eau, mesures environnementales dans le cadre des travaux connexes des aménagements fonciers). L'origine de ce programme provient de la traversée d'une réserve naturelle volontaire : à l'occasion de la définition des mesures de ce secteur, et en contrepartie du franchissement de cet espace naturel protégé, RFF s'est engagé, à la demande de l'État, à aller au-delà du strict respect réglementaire. Pour un montant de 4,57 millions d'euros, le programme a été mis en place pour une période de 2006 à 2011 et visait principalement à financer la réalisation d'actions concrètes.

Quel type de projets ?

Les deux objectifs prioritaires du programme concernent les interventions en faveur de la biodiversité et de l'écologie des paysages.

Par exemple, à titre indicatif, cela peut concerner des actions de protection, ▷



7



8

© PHOTO LAB SERVICES

gestion, entretien ou restauration de zones humides, mares, abords de cours d'eau, milieux naturels aquatiques ou pelouses sèches. Il peut s'agir également de restauration de haies, vergers, de mesures agro-environnementales ou forestières en faveur de la biodiversité ou de rétablissements de continuités biologiques (figure 9).

Les actions doivent s'accompagner de modalités de gestion permettant leur maintien dans le temps. Un document contractuel (convention, contrat de subvention) lie Réseau Ferré de France au bénéficiaire de l'action. La recherche de synergies et de complémentarités avec des programmes en place a permis des cofinancements dans le cadre de contrat de rivière par exemple.

Pour qui ?

Ce programme est ouvert à tous et s'adresse aux collectivités et leurs groupements, aux associations, aux établissements publics, aux personnes privées, aux entreprises, etc. L'action et l'intérêt collectif seront privilégiés.

Comment ça marche ?

Un comité scientifique examine et sélectionne les projets en fonction de leur adéquation avec les deux objectifs de préservation de la biodiversité et de l'écologie du paysage.

Il regroupe des experts scientifiques universitaires ou des représentants d'associations pour toutes les thématiques concernées (Flore - Botanique, Habitats naturels, Avifaune, Insectes, Milieux aquatiques, Infrastructures et milieux naturels, Écologie du paysage, Amphibiens et reptiles et Chiroptères). La décision finale de financement des projets est prise par le comité de pilotage du projet LGV Rhin Rhône, regroupant les co-financiers du projet, après avis du Comité scientifique.

Un document contractuel (convention, contrat de subvention...) liant RFF et les bénéficiaires sélectionnés est alors signé afin de lancer le démarrage des projets.

Où en sommes-nous ?

Le montant global disponible du pro-

9- Création du verger pédagogique de Burgille (25) avec des écoliers.

9- Creation of the educational orchard at Burgille with school pupils.

UN BILAN DÉVELOPPEMENT DURABLE

RFF a souhaité aller au-delà des obligations réglementaires et a lancé le premier bilan développement durable en intégrant toutes les composantes en même temps.

Au-delà du bilan socio-économique et sociétal et du bilan environnemental prévus par la loi, seront également présentés le bilan de la clause sociale, le Bilan Carbone®, le bilan environnemental de la phase travaux et le bilan du programme de mesures supplémentaires.

C'est en outre la première fois qu'un bilan est anticipé et piloté directement en région par la Direction Régionale Bourgogne/Franche-Comté de Réseau Ferré de France. Un groupe de pilotage a été constitué regroupant les instances de tutelle et les instances régionales bien avant le démarrage des travaux. Cela a permis de valider le contenu du bilan, les sites et les méthodologies de suivi qui seront employées tout au long

gramme est de 4,57 M€ pour une période d'action de 2006 à 2011.

Ce programme a permis la concrétisation de 89 projets, dont la plupart sont toujours en cours, sur plus de 200 propositions examinées. Certaines actions sont soldées, mais la plupart sont encore en cours.

Un bilan sera établi et présenté dans le cadre du bilan développement durable du projet.

EXEMPLES DE PROJETS FINANCÉS ET RÉALISÉS

- **Réhabilitation de la Tourbière du Crossat (Doubs).**
- **Mise en place d'un verger de conservation à mirabelliers en Haute-Saône (porté par le syndicat des producteurs de mirabelles des Coteaux du Haut-Pays de Villersexel) et de vergers conservatoires.**
- **Mise en œuvre du plan de conservation régional du lycopode petit cyprès (espèce de fougère très rare) en Haute-Saône (porté par la mairie de Saulnot).**
- **Restauration et réouverture de sites de pelouses sèches dans le Jura, dans le Territoire de Belfort.**
- **Préservation et amélioration de la fonctionnalité de frayères à brochet (en Côte d'Or, dans le Doubs, en Haute-Saône).**
- **Conservation d'habitats pour les chiroptères, etc.**



9

de la réalisation de ce bilan. 5 réunions se sont déjà tenues ainsi que plusieurs visites du chantier pour déterminer les sites de suivi et apprécier les mesures mises en place.

Rappel sur le bilan LOTI réglementaire

La circulaire du 15 décembre 1992, dite circulaire BIANCO, étend au domaine de l'environnement, l'obligation, d'un bilan a posteriori (trois à cinq ans après la mise en service), tel qu'il est prescrit dans les domaines économiques et social par l'article 14 de la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs pour les grands projets.

Les principes du bilan environnemental

RFF a une obligation de résultat et le bilan environnemental qui est réalisé après la mise en service de la ligne permet :

- De vérifier la conformité des mesures réalisées aux engagements de l'État ou du maître d'ouvrage pris au cours du projet ;
- De surveiller l'évolution des milieux au cours du temps ;
- D'évaluer la concordance entre effets prévus et effets constatés après réalisation du projet ;
- De mettre en évidence les éventuels effets non prévus initialement méritant un suivi adapté ;
- D'informer le public et les personnes concernées par le projet en portant à leur connaissance l'efficacité des aménagements réalisés pour une meilleure prise en compte de l'environnement ;
- De tirer les enseignements de l'ensemble de ces constatations en vue de proposer d'éventuelles actions correctives ;
- De dresser un retour d'expérience utile aux projets futurs.

Il se base sur la « photographie » complète de l'état des territoires et des



10- Blaireau empruntant une buse (vision nocturne).

10- Badger passing through a culvert (night vision).

milieux avant les travaux ainsi que des mesures en faveur de l'environnement envisagées, puis compare avec ce qui a été réalisé.

Les premiers résultats un an après la mise en service

Les premiers retours de ce bilan, suite aux observations réalisées sur le terrain, montrent que :

- Les talus et aménagements paysagers sont replantés et recolonisés de manière importante.
- Les zones de carrières, les traces du chantier (pistes provisoires, bases travaux ou bases vie) et des sites de dépôts sont complètement effacées.
- Les ouvrages faune (passages de grande et petite faune, mais également

ouvrages hydrauliques) fonctionnent bien, et ce même pendant les travaux. Concrètement, plus de 272 sites, tous thèmes confondus, ont fait l'objet de ce suivi environnemental qui a démarré au début de 2009 et qui se poursuivra jusqu'au bilan final établi 5 ans après la mise en service de l'infrastructure, soit en 2016.

→ **L'évolution du paysage** sera suivie sur 25 sites avec 5 campagnes photographiques à toutes les saisons.

→ **Les dispositifs anti-bruit** font l'objet d'une évaluation en 2012 qui sera ensuite intégrée au bilan prévu un an après la mise en service en 2013.

→ **7 cours d'eau** vont être surveillés pendant 5 ans en concertation avec les maires et les riverains, avec des vérifications sur site.

→ Pour **la grande faune**, un suivi a déjà été effectué auprès de 13 passages grande faune et du viaduc de Buthiers afin de vérifier si ces ouvrages étaient empruntés par la faune présente. Des relevés d'empreintes ont été effectués et révèlent que le chevreuil a ainsi fréquenté tous les ouvrages suivis, que le sanglier a été recensé

sur 80% des passages et que le cerf a même été identifié sur le passage grande faune spécifique du bois de Mondragon.

→ Pour **la petite faune**, un suivi a été effectué auprès de 27 passages petites faunes avec un piège photographique relevé tous les deux mois. 13 espèces d'animaux ont été photographiés : renards (29%), chats domestiques (20%), blaireaux (11%), chat sauvage (9%), lièvres (9%), martres (9%), fouines (4%), putois (5%). figure 10.

→ **Les mares réalisées pour les batraciens** ont toutes été recolonisées dès la phase travaux ; le suivi de 7 ouvrages de passages créés pour les amphibiens a montré qu'ils sont peu empruntés à l'exception du batracoduc de l'étang de Villers-la-Ville.

→ **Concernant les ouvrages réalisés pour les chauve-souris**, le suivi par enregistreur d'ultrasons montre que la fréquentation de chaque route de vol empruntée par ces espèces est restée stable en 10 ans.

Les suivis vont se poursuivre et les thématiques retenues seront présentées dans le premier bilan environnemental de la ligne qui sera produit un an après la mise en service, c'est-à-dire au printemps 2013.

Le bilan environnemental de la phase chantier est conçu comme un guide de « bonnes pratiques », qui servira à l'élaboration de la deuxième phase de la LGV Rhin-Rhône mais également à tous les projets d'infrastructures ferroviaires en cours et à venir. Il illustre combien l'anticipation des études, la concertation très importante avec tous les acteurs et la présence de nombreuses personnes sur le terrain ont permis de trouver des solutions parfois innovantes, souvent simples et faciles à mettre en œuvre. Pendant quatre années encore, le suivi se poursuivra pour présenter un bilan final à 5 ans au printemps 2017. □

ABSTRACT

AN INNOVATIVE PROJECT APPROACH TAKING INTO ACCOUNT THE HUMAN AND NATURAL ENVIRONMENT WELL BEFOREHAND

A. PETIT, RFF - A. HANTZ, RFF - É. WEBER, SETEC - P. ROCHE, SETEC - F. PICH, EGIS

From the outset of the project, numerous studies and several regulatory procedures were conducted to take into account and protect the frontage residents, the water, fauna and flora during the construction of the future line. Everything was done to ensure that the eastern branch of the Rhine-Rhone high-speed rail line would be integrated as well as possible into its human and natural environment. The «prevent, mitigate, offset» triptych which is now very fashionable was applied on this project as of 1993, even before it became widespread in regulatory documents and in current project performance practices. □

UN ENFOQUE INNOVADOR QUE TIENE EN CUENTA EL ENTORNO HUMANO Y NATURAL DESDE LAS FASES INICIALES

A. PETIT, RFF - A. HANTZ, RFF - É. WEBER, SETEC - P. ROCHE, SETEC - F. PICH, EGIS

Desde el comienzo del proyecto, se han realizado muchos estudios y varios procedimientos reglamentarios para tener en cuenta y proteger a los vecinos, el agua, la fauna y la flora, en el marco de la realización de la futura línea. Todo esto se ha llevado a cabo para que la LAV (Línea de Alta Velocidad) Rin-Ródano ramal este se integre de la mejor forma posible en su entorno, ya sea humano o natural. El triptico «evitar, reducir, compensar» muy en boga actualmente, se ha aplicado a este proyecto desde 1993, antes incluso de su difusión en los textos reglamentarios y en las prácticas actuales de su realización. □

**1- Intégration
architecturale
et paysagère.**

**1- Architectural
and landscaping
integration.**

© STRATES

LIGNE À GRANDE VITESSE RHIN-RHÔNE INTÉGRATION ARCHITECTURALE

AUTEURS : CHRISTOPHE CHERON, ARCHITECTE, LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES - HERVÉ VADON, ARCHITECTE, STRATES ARCHITECTES

LE TRAVAIL D'INTÉGRATION ARCHITECTURALE DES OUVRAGES D'ART S'EST FAIT CONJOINTEMENT PAR LES ARCHITECTES DES DEUX MAÎTRES D'ŒUVRE AVEC UNE GRANDE FACILITÉ ET BEAUCOUP DE NATUREL SOUS L'IMPULSION INITIALE ET DÉCISIVE DE RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE QUI A INTÉGRÉ CETTE DIMENSION DÈS L'ORIGINE DU PROJET. LA DIFFUSION DES PRINCIPALES DISPOSITIONS S'EST POURSUIVIE GRÂCE À UNE DIRECTION DE PROJET DE MAÎTRISE D'ŒUVRE TRÈS SENSIBLE ET PERSONNELLEMENT ATTACHÉE À L'ARCHITECTURE. ENFIN LES ENTREPRISES ET LEURS PERSONNELS, TRÈS SOUVENT INSTALLÉS OU NATIFS DE LA RÉGION, ONT MIS TOUT LEUR ENTHOUSIASME DANS LA RÉALISATION DE CE PROJET EXCEPTIONNEL.

PRÉAMBULE

Voilà bientôt un an que nous fêtons la mise en service commerciale de la LGV Rhin-Rhône. Nous avons donc le recul nécessaire pour apprécier le travail d'intégration architecturale et paysagère qui a été entrepris sur les ouvrages d'art de la ligne.

RFF a pris en compte cet important sujet dès le démarrage des études préliminaires et s'est adjoint alors, comme assistance à maîtrise d'ouvrage, les compétences d'un paysagiste et d'un cabinet d'architectes. Le travail de définition paysagère très en amont a pu être conduit avec succès et pertinence mais la définition architecturale des ouvrages d'art fut plus problématique à ce stade, sans doute à cause d'un manque de données géométriques suffisantes.

C'est donc à la maîtrise d'œuvre qu'est revenue la mission de définir le parti architectural des ouvrages sur l'ensemble de la ligne.

L'agence Strates et l'agence Lavigne-Chéron, respectivement architectes des lots B (Egis mandataire) et A+C (Setec mandataire) ont donc collaboré pour œuvrer à la qualité architecturale de la LGV Rhin-Rhône.

PHILOSOPHIE ET MÉTHODE

Il se trouve que ces deux agences, certes habituellement concurrentes, partagent une grande expérience des ouvrages d'art et une philosophie conceptuelle commune. Nous avons



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

2- La mise en service commerciale de la LGV Rhin-Rhône va bientôt fêter sa première année.

2- It will soon be one year since the commercial start-up of the Rhine-Rhone high-speed rail line.

en effet comme préoccupation première la vérité, l'honnêteté structurelle, la lisibilité des efforts mécaniques. C'est donc sans difficulté que nous avons pu converger pour élaborer ensemble une charte architecturale.

Pourquoi une charte architecturale ? Parce que la ligne comporte pratiquement 200 ouvrages d'art, de toutes tailles et aux enjeux extrêmement variés. Nous devons donc mettre en place un recueil de principes simples qu'il serait possible de décliner à loisir au fur et à mesure de nos études - qui

ne se déroulaient pas nécessairement au même moment.

Le double enjeu de cette charte fut donc d'être suffisamment précise pour nous permettre de travailler chacun de notre côté et, d'autre part, assez générique pour s'adapter aux multiples situations que nous allions rencontrer pendant la vie du chantier.

Un des avantages considérables du choix de la simplicité est sa vertu pédagogique. Il ne faut pas sous-estimer l'importance de la diffusion des concepts architecturaux au sein des équipes de maîtrise d'œuvre et de travaux ; ce sont en effet ces hommes et ces femmes directement aux prises avec les difficultés de conception et de réalisation qui réussissent les ouvrages. Un discours architectural clair et direct, débarrassé des fioritures et du jargon associé, et dont on comprend la finalité est extrêmement efficace.

LE PARTI ARCHITECTURAL

Il distingue les grands ouvrages des ouvrages courants. Si les premiers sont à l'échelle du territoire les deuxièmes sont à l'échelle du bâti. Notre ambition est d'écrire une « histoire de ligne » qui intègre les deux perceptions.

LES OUVRAGES COURANTS

Nous avons opté pour une image de ligne d'une grande simplicité, adaptée à la fois à la technicité d'une LGV et au territoire traversé, très majoritairement boisé et naturel. ▶



3



4

© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI



5

© STRATES

La variété du type d'ouvrage qu'ils soient en pont rail ou en pont route ou passage faune, nous oblige à faire des choix fondamentaux dans la mise en place d'une volumétrie sobre et efficace déclinable aux variations géométriques inévitables des centaines d'ouvrages courants nécessaires au passage de la LGV Rhin Rhône.

Au-delà d'une rive uniforme, nous souhaitons leur conférer à tous un « air de famille ».

Bien conscients des difficultés techniques, économiques ou mêmes politiques - ajout d'ouvrages non prévus, traitement préférentiel revendiqué par tel ou tel - nous y sommes parvenus par un design très simple des appuis et une modénature rainurée de certaines surfaces de béton (figures 3, 4 et 5).

Les ponts routes proposent des structures à trois travées (très majoritaires) Leur calage fin a permis de peaufiner les coffrages, les parements,

les surfaces et les raccordements aux éléments de sections courantes comme les talus ou les clôtures.

Les piles restent des parallélépipèdes trapézoïdaux qui s'ouvrent plus ou moins en fonction des largeurs des voies portées. L'ouverture centrale qui permet le passage d'un homme pour accéder facilement à l'entretien reste possible dans la majorité des cas. Des joints horizontaux réguliers rythment la surface plane, toutes les arêtes sont « brisées » pour mieux garantir le décoffrage et la pérennité des appuis.

Les perrés des ouvrages, qui incluent un escalier béton inscrit dans le biais des ouvrages, sont des surfaces très régulières. Un tapis de concassé de roche locale (calcaire plus ou moins altéré et mélangé) est posé sur un lit de gros béton.

Les rives des ouvrages ont été particulièrement soignées. La gestion des différents équipements réglementaires,

3 à 5- Un design très simple des appuis et une modénature rainurée de certaines surfaces de béton confèrent à tous les ouvrages courants un « air de famille ».

3 to 5- A very simple design of the supports and a grooved outline of certain concrete surfaces give all the standard engineering structures a «family likeness».

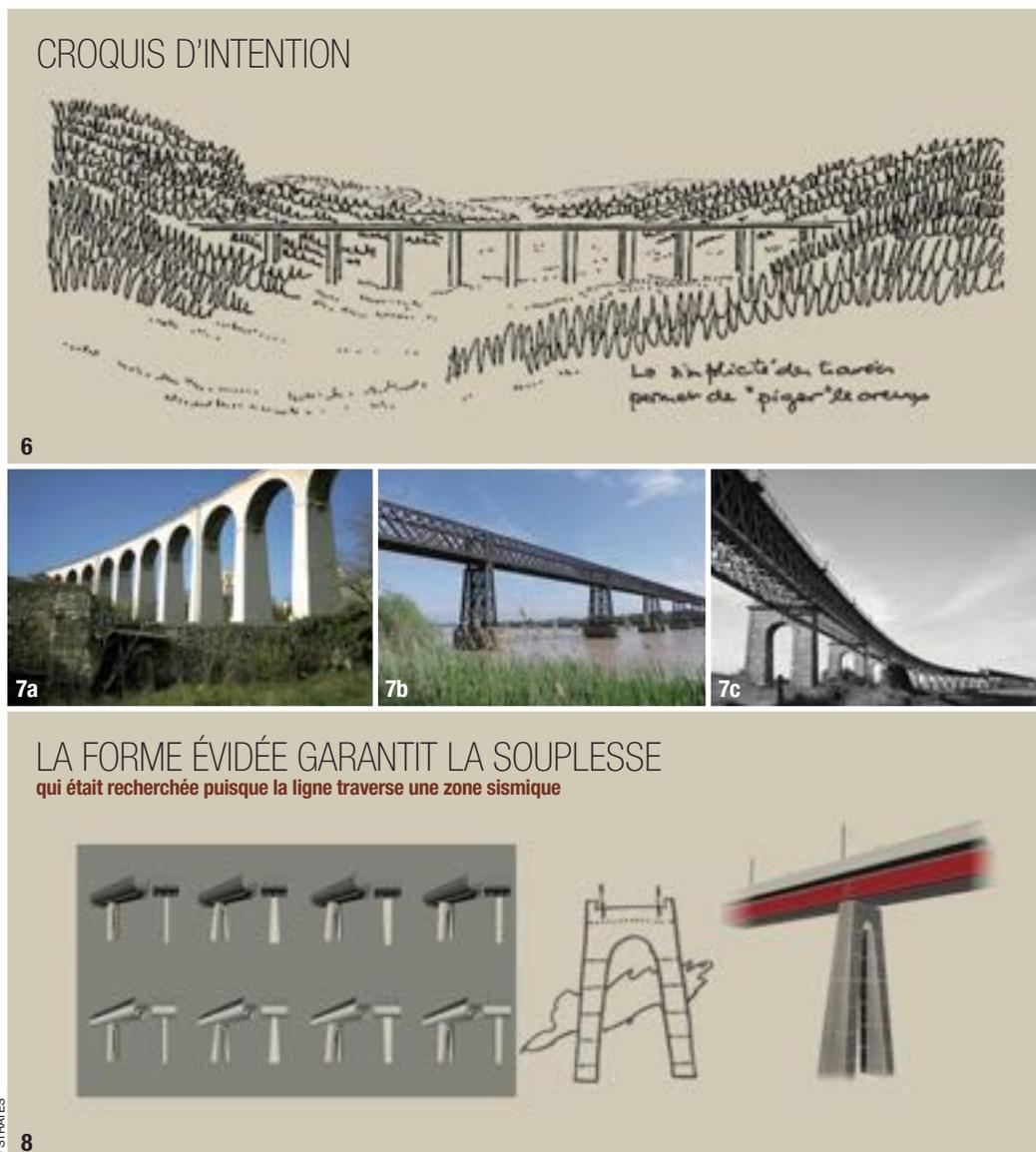
nécessaires au bon fonctionnement de la ligne s'articule harmonieusement. Les BN2 qui bordent chacun des ponts routes sont l'élément fédérateur. Leur surface arrière est matricée avec un motif de cannelure horizontale pour leur donner du caractère. Cette corniche constitue à la fois une mise en valeur graphique des ouvrages linéaires et une clé d'identification, le signe d'identification de la LGV RR : présente sur tous les ouvrages d'art pour éviter les projections de ballasts, on la retrouve quasiment tous les kilomètres.

Les protections caténaies règnent au minimum entre les deux piles des structures à trois travées. Leur forme réglementaire s'accroche aux rives des encorbellements des dalles béton que l'on a essayé de rendre identiques sur l'ensemble des ouvrages.

Les passages faunes sont différents dans leur structure car celle-ci s'adapte à leur fonction propre. Les deux appuis

6- Croquis d'intention.
 7- Clin d'œil respectueux aux arches en maçonnerie des viaducs du XIX^e siècle : Viaducs ferroviaires de Saint-Antoine à Marseille et de Cubzac en Aquitaine.
 8- La forme évidée garantit la souplesse qui était recherchée puisque la ligne traverse une zone sismique.

6- Intention sketch.
 7- Respectful allusion to the masonry arches of 19th century viaducts: Rail viaducts of Saint-Antoine in Marseille and Cubzac in Aquitaine.
 8- The perforated shape ensures the required flexibility, because the line passes through a seismic zone.



sont devenus des murs que l'on anime de joints en creux qui stratifient ces grandes surfaces. Les BN2 restent sur les rives mais sont couplés avec des écrans mixtes bois/métal anti-vue pour les animaux.

Les ponts rails ont recours à des structures différentes en fonction de la géométrie de la plateforme ferroviaire et des voies qu'ils franchissent. On retiendra essentiellement des voûtes quand la couverture de remblai est suffisante et des cadres dans les autres cas qui restent majoritaires.

Les cadres sont des ouvrages qui sont vus et empruntés par des automobilistes et des piétons. Leur qualité doit répondre à ces mouvements de personnes. Le travail sur les piedroits va dans le sens de l'animation de ces grandes surfaces en béton. Le motif « cannelure » choisi propose un relief important qui uniformise l'aspect des bétons et reste dissuasif aux dégradations.

Les voûtes sont plus ou moins larges et l'architecture reste souple. La coupe dans le plan du remblai forme l'essentiel du traitement. Celui-ci est complété par un travail de la peau à l'entrée des ouvrages importants qui rétablissent des routes départementales.

Les écrans acoustiques : L'architecture proposée pour les écrans de la ligne s'inspire des éléments de rive des viaducs qui ont initié l'idée. Les panneaux en béton préfabriqué sont légèrement inclinés vers les voies et leur peau extérieure est décomposée en « écailles » successives. Leur hauteur progressive redonne une échelle à l'objet et permet de conserver le parti quelle que soit la nécessité acoustique. Les bétons sont clairs et permettent à ces parois disséminées dans la campagne de mieux jouer avec la lumière du jour et les rayons du soleil. L'absence de poteau entre éléments est un choix architectural volontaire qui

privilégie la continuité des bandeaux qui restent des segments courts à l'échelle de la ligne.

LES OUVRAGES EXCEPTIONNELS

Pour les grands viaducs l'idée de conduire une stratégie commune sur l'ensemble des viaducs des trois tronçons de la ligne a été conservée dans l'esprit. On a imaginé une architecture « adaptée ».

L'architecture détaillée de chacun d'eux a su évoluer selon les contraintes propres sans remettre en cause l'enveloppe générale des grands principes.

Le travail sur un travelage équilibré sans chercher la performance technique ou architecturale a guidé la recherche de la bonne répartition des appuis.

Les réponses apportées affichent notre respect des brèches ou des cours d'eaux que la ligne enjambe dans sa traversée de la Franche Comté.

Le dessin des piles ajourées a fait l'ob-

jet de recherches approfondies, il n'a pas été immédiat (figure 6).

Il s'agit d'un clin d'œil respectueux aux arches en maçonnerie des viaducs du XIX^e siècle, emblématiques des ouvrages ferroviaires de cette époque (figure 7).

Mais nous avons tourné ces piles à quatre-vingt-dix degrés et elles sont plus légères et plus espacées que leurs illustres modèles.

Cette forme évidée garantit par ailleurs la souplesse qui était recherchée puisque la ligne traverse une zone sismique (figure 8).

Les tabliers sont toujours de hauteur constante et la fermeture de l'intrados des bipoutres est effectuée par une succession de dalles préfabriquées en béton.

Cette pièce répétitive anime les sous faces des tabliers, uniformise les teintes et simplifie la lecture par dessous (figures 9 et 10).



9



10



11



12

FIGURES 9 & 11 © ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TP1 - FIGURES 10 & 12 © STRATES

La couleur - sujet délicat s'il en est ! Mais la couleur rouge que nous avons choisie pour les grands viaducs a finalement convaincu.

D'abord parce que c'est la couleur complémentaire du vert qui domine le paysage franc-comtois. Utiliser la couleur complémentaire, c'est instaurer un dialogue courtois et équilibré avec le paysage : chacun revendique la place qui lui revient sans chercher le camouflage, hasardeux, ou l'ostentation, prétentieuse. Ensuite le rouge est une référence historique attachée aux ouvrages ferroviaires et à certains grands ouvrages métalliques (figures 11 et 12).

Toujours soucieux de cohérence architecturale, paysagère et environnementale, RFF a aussi étendu notre mission de conception architecturale aux bâtiments et aux plateformes des équipements ferroviaires. Notre modeste intervention sur ces bâtiments à vocation purement technique nous a néanmoins permis de généraliser cette « familiarité architecturale » des ouvrages bâtis de la LGV.

CONCLUSION

Nous sommes extrêmement fiers d'avoir pu participer à cette grande aventure de l'arrivée de la ligne à grande vitesse dans ces territoires

9 & 11- Viaduc de la Lizaine.

10 & 12- Viaduc de Linotte.

9 & 11- La Lizaine viaduct.

10 & 12- Linotte viaduct.

si attachants de Bourgogne et de Franche-Comté. Le travail d'intégration architecturale des ouvrages d'art s'est fait avec une grande facilité et beaucoup de naturel sous l'impulsion initiale et décisive de Réseau Ferré de France qui a intégré cette dimension dès l'origine du projet. La diffusion des principales dispositions s'est ensuite poursuivie grâce à une direction de projet de maîtrise d'œuvre très sensible et personnellement attachée à l'architecture. Enfin - et surtout peut-être - les entreprises et leurs personnels, très souvent installés ou natifs de la région, ont mis tout leur enthousiasme dans la réalisation de ce projet exceptionnel. □

ABSTRACT

RHINE-RHONE HIGH-SPEED RAIL LINE: ARCHITECTURAL INTEGRATION

C. CHERON, LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES - H. VADON, STRATES ARCHITECTES

The work of architectural integration of engineering structures was performed jointly by the architects of the two project managers very easily and naturally at the initial, decisive instigation of Réseau Ferré de France, which incorporated this aspect from the outset of the project. Dissemination of the main measures was continued by a very sensitive project management that personally assigned importance to architecture. Lastly, the contractors and their personnel, very often established in or coming from the region, put all their enthusiasm into the execution of this exceptional project. □

LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD RIN-RÓDANO: INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

C. CHERON, LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES - H. VADON, STRATES ARCHITECTES

Los arquitectos de los dos contratistas han realizado conjuntamente el trabajo de integración arquitectónica de las estructuras con gran facilidad y naturalidad bajo el impulso inicial y decisivo de Réseau Ferré de France que integró esta dimensión desde el comienzo del proyecto. La difusión de las principales disposiciones prosiguió gracias a una gestión de proyecto de dirección de obra muy sensible y personalmente vinculada a la arquitectura. Por último, las empresas y su personal, frecuentemente instalados o nativos de la región, pusieron todo su entusiasmo en la realización de este excepcional proyecto. □

LE PROJET TECHNIQUE DE GÉNIE CIVIL

AUTEURS : JEAN BERNARD, DIRECTEUR DE PROJET DU TRONÇON C, SETEC - VINCENT MARTIN, DIRECTEUR DES ÉTUDES DU TRONÇON B, EGIS

EN TERMES DE GÉOMÉTRIE, LES EXIGENCES D'UNE LIGNE À GRANDE VITESSE CONÇUE POUR ÊTRE CIRCULÉE À 350 km/h SONT TELLES QUE SA CONCEPTION DANS UN RELIEF AUSSI VALLONNÉ QUE CELUI DE LA BOURGOGNE ET DE LA FRANCHE-COMTÉ NÉCESSITE LE RECOURS À DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL TRÈS IMPORTANTS ET NOMBREUX, TANT EN TERRASSEMENTS QU'EN OUVRAGES D'ART. UNE GÉOLOGIE GLOBALEMENT DÉFAVORABLE, PRÉSENTANT LA PLUPART DU TEMPS DES SOLS COMPRESSIBLES OU DES SOLS ROCHEUX MAIS KARSTIQUES, CONDUIT À AUGMENTER LA COMPLEXITÉ DE LA CONCEPTION ET DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL.



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

Dans son aménagement définitif, la Branche Est de la LGV Rhin-Rhône est une infrastructure nouvelle sur une longueur de 182 km, qui se raccorde :

→ À Genlis (Côte d'Or), à la ligne Dijon-Dole,

→ À Lutterbach (Haut-Rhin), à la ligne Strasbourg-Mulhouse.

Le projet technique décrit dans le présent article est limité aux ouvrages de génie civil de la 1^{re} phase mise en service en décembre 2011 et qui a nécessité la construction d'une infrastructure nouvelle sur une longueur de 140 km

entre Villers-les-Pots, sur la ligne Dijon-Dole, et Petit-Croix sur la ligne Belfort-Mulhouse. Réseau Ferré de France a confié en 2003 la mission complète de maîtrise d'œuvre des tronçons A et C, soit 127 km au total, au groupe SETEC assisté de ses architectes MM. Chéron et Lavigne (cabinet AOA) et celle du tronçon B, soit 57 km, au groupe Egis assisté de son cabinet d'architecte Strates (H. Vadon) et du paysagiste Paysage Plus. Pour les Équipements Ferroviaires, ces deux groupes se sont associés pour constituer un seul groupement intégré.

La totalité de la maîtrise d'œuvre du projet de la LGV Rhin-Rhône depuis l'APD du génie civil jusqu'aux essais de mise en service a donc été assurée par les groupes Setec et Egis (hors APD des EF).

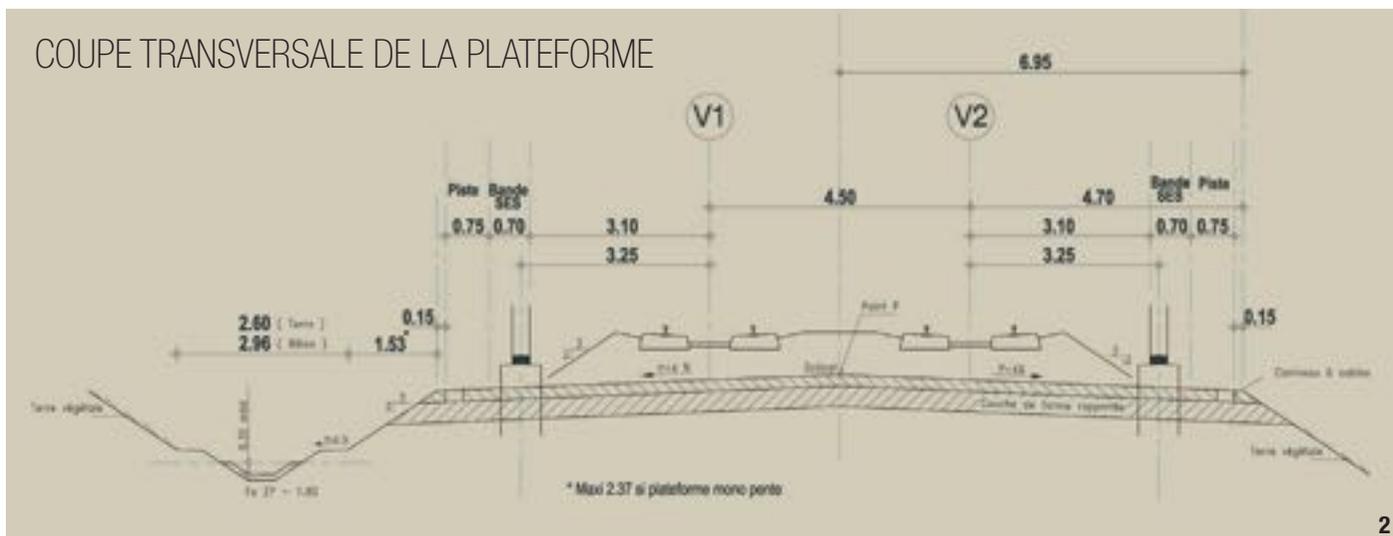
TRACÉ DE LA LIGNE

Sur le linéaire de ligne nouvelle compris entre les raccordements de Villers-les-Pots et de Petit-Croix, la géométrie de la plateforme ferroviaire a été conçue pour une vitesse de 350 km/h, même si la vitesse de circulation est actuellement de 320 km/h. En allant d'Ouest (PK 0) en Est (PK 140), la ligne quitte la vallée

de la Saône pour rencontrer un relief de plus en plus accentué, nécessitant de grands viaducs pour le franchissement de vallées très marquées et n'évitant pas la construction d'un tunnel, long de presque 2 km.

Ainsi, la ligne s'élève de la cote $Z=192$ au niveau du franchissement de la Saône à $Z=415$ au point haut du profil en long, situé dans le tunnel de Chavanne (PK 116). La traversée du relief le plus marqué justifie le recours local à la pente maximale du profil en long autorisée par le Référentiel technique de la LGV, soit 35 mm/m. ▶

COUPE TRANSVERSALE DE LA PLATEFORME



En phase d'APD, les modifications apportées au tracé en plan de la LGV par rapport à l'axe de la bande Déclarée d'Utilité Publique (DUP) ont été limitées, dans le cadre d'optimisations locales du projet, à l'exception de l'impact des adaptations fonctionnelles suivantes :

→ Adoption, pour la gare de Belfort-Montbéliard TGV, d'un concept de gare à quai central (le quai central est longé par les deux voies déviées tandis que les voies directes sont écartées vers l'extérieur) : ce concept impose un alignement droit de l'axe de la ligne de 3,3 km, nettement plus long que dans le cas d'une gare classique à quais latéraux ;

→ Pour des raisons d'économie, transformation du raccordement dénivellé de Petit-Croix au profit d'un raccordement à niveau (mais en conservant la même vitesse de conception de 160 km/h), dans la mesure où l'exploitation commerciale de ce raccordement s'arrêtera avec le prolongement de la LGV jusqu'à Lutterbach. La contrainte d'inscrire le raccordement à l'intérieur de la bande DUP a profondément modifié son tracé en plan et entraîné un déplacement transversal de l'ordre de 50 m de l'axe de la LGV dans son prolongement de 2^e phase.

→ Variantes de tracé et profil en long pour le franchissement des vallées de la Quenoche, Linotte et Corcelles afin de réduire la longueur des viaducs baptisés du même nom et rechercher une meilleure intégration environnementale. Les modifications apportées au profil en long de la LGV par rapport à celui défini à l'APS ont été justifiées par la concertation à l'échelon local ainsi que par l'optimisation du mouvement des terres.

PLATEFORME FERROVIAIRE

La plateforme ferroviaire est de conception classique pour une LGV (figure 2) :

→ En section courante de ligne conçue pour V350, l'entraxe des voies est de 4,50 m ;

→ Pour minimiser l'épaisseur de ballast sous traverses, la plateforme est nivelée en toit penté à 4% quand la ligne est en alignement ou en courbe avec un dévers de la voie (calculé pour V350) inférieur à 100 mm, et est déversée à 4% en courbe quand le dévers de la voie est supérieur à 100 mm ;

→ La largeur de la plateforme, mesurée au niveau de la sous-couche ferroviaire, est de 13,90 m ;

→ La sous-couche ferroviaire et la couche de forme sont en matériaux granulaires.

2- Coupe transversale de la plateforme.

2- Cross section of the formation level.

GÉOTECHNIQUE DE TERRASSEMENT

L'exploitation des résultats des diverses reconnaissances géologiques et géotechniques menées pendant la phase de conception (APD puis Projet) et en complément de celles faites pour l'APS de la LGV, a mis en évidence l'importance des risques suivants pour

la conception des ouvrages de génie civil compte tenu des faciès marneux, marno-calcaires et calcaires rencontrés par la LGV :

→ Le franchissement de zones de sols compressibles, notamment en fond de vallées traversées en remblai ;

→ La présence de cavités naturelles (phénomènes karstiques) et anthropiques (anciennes exploitations minières) ;

→ Le franchissement de zones de marnes gonflantes interférant avec l'arasement des terrassements de la ligne.

En matière de terrassements, les principaux volumes du Projet sont synthétisés dans le tableau 1.

→ Présence de marnes peu compactes en grande profondeur (Crevans), de nappes perchées dont certaines de grande puissance nécessitant des parois drainantes.

OUVRAGES D'ART

La LGV comprend 197 ouvrages d'art (hors dalots) selon la décomposition du tableau 2.

La conception des ouvrages d'art courants est classique :

→ Les ponts-rails portant la LGV sont de type cadre, portique ou voûte en béton armé, mais aussi à dalle ou poutres en béton armé (photos 3 et 4) ;

→ Les ponts-rails portant des rétablissements de lignes de chemin de fer sont à tablier à poutrelles enrobées ;

→ Les ponts-routes sont généralement de type pont-dalle en béton armé ou précontraint ou à poutres en béton précontraint (photos 5 et 6).

Hormis le viaduc de la Savoureuse dont la structure est le fruit d'un concours de conception technique, architecturale et paysagère, les viaducs sont d'une conception classique caractérisée par

TABLEAU 1 : LES PRINCIPAUX VOLUMES DU PROJET

Nature du matériau	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Total
Longueur	55 km	57 km	30 km	140 km
Déblais	8,6 Mm ³	16,3 Mm ³	9,6 Mm ³	34,5 Mm ³
Remblais	6,5 Mm ³	10,5 Mm ³	6,5 Mm ³	23,5 Mm ³
Emprunts (sur 5 sites au total)	1,5 Mm ³	0,8 Mm ³	0,3 Mm ³	2,6 Mm ³

TABLEAU 2 : LA LGV COMPREND 197 OUVRAGES D'ART

Nature d'ouvrages d'art	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Total
Ouvrages d'art courants :				
• Ponts-rails	32	41	12	85
• Ponts-routes et passages grande faune	41	35	18	94
• Estacades	3			3
Ouvrages d'art non courants :				
• Viaducs	1	6	6	13
• Tunnel			1	1
• Tranchée couverte			1	1
Total	77	82	38	197



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

3- Pont-rail courant en dalle béton armé.

4- Pont-rail courant en cadre.

5- Pont-route courant en dalle béton armé.

6- Passage faune en cadre.

3- Standard reinforced concrete slab rail bridge.

4- Standard frame rail bridge.

5- Standard reinforced concrete slab road bridge.

6- Frame type animal crossing.

TABLEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES 13 VIADUCS

Tronçon	PK		Long (m)	Nombre d'Appareils de Dilatation de voie associés (AD)	Portée maximale (m)	Poids de charpente (t)
A	8+3	Viaduc de la Saône	370	1	45	1 260
B	57+3	Viaduc de l'Ognon Moyen	116	0	35	410
	59+9	Viaduc de la Buthiers ⁽¹⁾	156	0	40	335
	77+0	Viaduc de Quenoche ⁽¹⁾	485	1	55	1 810
	77+9	Viaduc de Linotte	367	1	50	1 370
	88+8	Viaduc de l'Ognon Amont	183	0	39	690
	111+9	Viaduc de Corcelles ⁽¹⁾	523	1	55	1 940
C	117+4	Viaduc du Pertuis	220	1	55	800
	118+7	Viaduc d'Aibre-Trémoins	250	1	55	900
	122+4	Viaduc des Epenottes	450	1	54	1 600
	124+3	Viaduc de la Lizaine	717	2	76	4 700
	130+8	Viaduc de la Savoureuse	792	0	66	9 200
139+8	Viaduc de la Bourbeuse	110	0	30	380	

(1) Les viaducs de la Buthiers, de Quenoche et de Corcelles sont conçus avec une culée creuse de respectivement 53, 62 et 73 m dont la longueur est incluse dans la longueur totale annoncée. Ces culées creuses ont été retenues pour limiter l'emprise au sol et supprimer ou réduire le nombre d'appareils de dilatation de voie générant des coûts de maintenance importants.

un tablier en ossature mixte acier-béton de type bi-poutre (photo 7), le bi-poutre devenant bi-caisson pour le viaduc de la Lizaine dont les portées atteignent 76 m. Les caractéristiques principales des 13 viaducs sont rappelées dans le tableau 3.

La conception des ouvrages d'art (et de leurs blocs techniques) et leur dimensionnement prennent en compte l'aléa sismique qui ressort du zonage défini dans le décret n° 91-461 du 14 mai 1991 et qui concerne la partie Est de la LGV :

→ Sur le tronçon B, 14 km en zone sismique 1a et 5 km en 1b ;

→ Sur le tronçon C, la totalité est en zone sismique 1b.

L'incidence de la prise en compte de l'aléa sismique se traduit notamment par un renforcement des fondations

des appuis constituant le point fixe du tablier.

À noter que le viaduc des Epenottes est équipé de ressorts-amortisseurs pré-contraints (RAP) ; cette spécificité est notamment développée dans le numéro 860 d'avril 2009 de la Revue. ▷

Pour ce qui est des ouvrages souterrains :

→ Le tunnel de Chavanne, long de 1 970 m, fait l'objet d'un article spécifique ;

→ La seule tranchée couverte, du Bois de la Faye, située à l'Est du tunnel de Chavanne, d'une section d'air de 100 m² et d'une longueur de 170 m, est constituée d'une voûte en béton armé coulée en place (photo 8).

LE TUNNEL DE CHAVANNE

Le franchissement du relief le plus élevé de la LGV nécessite le passage en tunnel, dans le tunnel de Chavanne, long de 1 970 m.

Le massif traversé par le tunnel de Chavanne est caractérisé par un contexte géologique, géotechnique et hydrogéologique particulièrement complexe : matériaux alternativement calcaires (avec risques karstiques) ou marnes, parmi lesquels on trouve des marnes peu sympathiques telles que celles du Toarcien (ou schistes-carton) et des matériaux présentant un potentiel de gonflement. Ainsi le tunnel doit traverser de nombreux contacts calcaires/marnes d'origine stratigraphique ou tectonique, susceptibles d'être altérés par les circulations d'eau, ainsi que des terrains très médiocres au vu des difficultés rencontrées dans les forages de reconnaissance réalisés en phase d'APD.

Dans des terrains défavorables, le risque d'accident lors du creusement d'une galerie s'accroît quand celle-ci est de grandes dimensions. Or le projet défini à l'APS répondait à un objectif de section d'air de 100 m², comme pour les tunnels de la LGV Méditerranée, conduisant à une section excavée de 150 m² dans les marnes les plus mauvaises. Pour réduire le risque, en coût de travaux comme en délai, du creusement du tunnel de Chavanne, RFF a pris la décision de réduire la section d'air à 80 m² (ce qui conduit à une section excavée maximale de 135 m²) entraînant une limitation de vitesse à 270 km/h pour permettre le croisement de trains actuels étanches aux ondes de pression, dans le respect des critères de confort tympanique pour les voyageurs.

La Direction de Projet de RFF a accepté de réaliser, en phase de conception, une tranchée d'essais pour la réalisation de soutènement par paroi clouée dans les marnes du Toarcien et un puits et une galerie de reconnaissance pour observer le comportement en galerie des terrains dans lesquels il



7- Viaduc de conception-type bi-poutre métallique (ici, viaduc du Pertuis).

8- Vue de la tranchée couverte du Bois de la Faye.

7- Viaduct of standard two-girder steel design (here, the Pertuis viaduct).

8- View of the Bois de la Faye cut-and-cover tunnel.



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TP

n'avait pas été possible de réaliser les essais prévus dans les sondages de reconnaissance. Les renseignements fournis par ces ouvrages d'essai ou de reconnaissance ont été précieux pour l'établissement des offres par les entreprises et pour les études d'exécution du soutènement immédiat.

Le projet du tunnel a compris, outre le génie civil, les équipements de sécurité (éclairage, réseau de lutte contre

l'incendie, transmission des radio-communications des services de secours) exigés par l'ITI 98-300.

LES RÉTABLISSMENTS DE COMMUNICATION

Les rétablissements de communications interceptées par la LGV sont résumés dans le tableau 4.

Parmi les rétablissements présentant des particularités, on peut citer :

→ Le rétablissement de la RN 57 (tronçon B) qui a fait l'objet d'une mise au point de projet très complexe du fait du contexte agricole et de la proximité du village de Neuville, du contexte géotechnique défavorable (cavité), du biais important de la LGV par rapport à la RN 57, de l'importance de cet axe routier structurant et d'un phasage transversal ;

→ La création de la voie nouvelle RD 486 permettant d'assurer une liaison ferroviaire entre la plateforme LGV et la Base Travaux de Villersexel pendant les travaux des équipements ferroviaires, puis la déviation routière de Villersexel grâce à un partenariat efficace entre RFF et les collectivités locales ;

→ Le rétablissement de la RN 1019 (tronçon C) interceptée par la LGV à proximité immédiate de la gare de Belfort-Montbéliard TGV : les contraintes liées, d'une part, au biais très prononcé du franchissement de la plateforme à

TABLEAU 4 : VOIES DE COMMUNICATION COUPÉES PAR LA LGV

Voie de communication	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Total
RN	0	1	1	2
RD	35	24	6	65
VC et CR	37	48	17	102
Lignes de chemin de fer	1	0	1	2



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETECT/PI

9

TABLEAU 5 : ALLOTISSEMENT

Tronçon	Lot	Longueur (km)	Consistance	Durée
A	A1/A2	7,6	TOARC incluant le viaduc de la Saône et les estacades	29 mois
	A3	18,4	TOARC	27 mois
	A4	29,1	TOARC	32 mois
B	B1	19,7	TOARC	31 mois
	B2	0,9	Viaducs de Quenoche et de Linotte	28 mois
	B3	35,6	TOARC incluant la plateforme de la Base Travaux de Villersexel	29 mois
	B4	0,8	Viaduc de Corcelles	28 mois
C	C1	6,3	TOARC incluant le tunnel de Chavanne et la tranchée couverte	34 mois
	C2	0,9	Viaducs du Pertuis et d'Aibre-Trémoins	28 mois
	C3	20,2	TOARC incluant le tronçon de RN 1019	30 mois
	C4	1,7	Viaducs des Epenottes et de la Lizaine	34 mois
	C5	1,2	Viaduc de la Savoureuse	30 mois

4 voies de la LGV par la RN existante à 2 voies mais destinée à être élargie à 2 x 2 voies et, d'autre part, à l'organisation de la desserte de la gare nouvelle à partir de la RN 1019 rétablie, ont conduit à réaliser un tronçon de 3 km d'infrastructure routière à 2 x 2 voies, exploitée actuellement à 2 x 1 voie dans l'attente de la poursuite de

l'aménagement de la RN 19 de Vesoul à la frontière suisse. L'État a délégué la maîtrise d'ouvrage de ce nouveau tronçon de RN 1019 à RFF qui l'a fait réaliser dans le cadre des travaux de la LGV (photo 9) ;

→ Le rétablissement de la ligne de chemin de fer Belfort-Delle (tronçon C) interceptée par la LGV au niveau de la

9- Le rétablissement de la RN 1019 à 2 x 2 voies sur la LGV à 4 voies.

9- Restoration of two-lane dual-carriageway highway RN 1019 over the 4-track high-speed rail line.

gare de Belfort-Montbéliard TGV : le tracé du rétablissement a été déterminé pour réserver la possibilité d'inscrire une gare TER à proximité immédiate de la gare nouvelle dans la perspective d'une réouverture au trafic voyageurs de cette ligne Belfort-Delle.

LES DÉPLACEMENTS DE RÉSEAUX

Les réseaux interceptés par la LGV ont été classiquement déplacés par leurs gestionnaires, dans le cadre de conventions avec RFF. Cependant, le projet de la LGV a nécessité la construction, dans le cadre des marchés de travaux de la LGV, d'ouvrages spécifiques à certains réseaux :

→ À Villers-sur-Saulnot (tronçon C), rétablissement d'un gazoduc Ø 500 sous un grand remblai dans une zone de sols compressibles ;

→ À Héricourt (tronçon C), rétablissement de 2 oléoducs Ø 42" et Ø 50" pour éviter les fondations de certaines piles du viaduc de la Lizaine.

ALLOTISSEMENT DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Le principe de base retenu par RFF a consisté à découper, pour chaque tronçon (A, B et C), le linéaire de LGV en lots de TOARC (Terrassements, Ouvrages d'Art, Rétablissements de Communication) limités par des coupures naturelles dans le mouvement des terres et dont ont été extraits les viaducs les plus importants pour constituer des « hors lots » susceptibles d'intéresser des entreprises spécialisées en ouvrages d'art.

Une finalité de ces marchés était de livrer aux entreprises en charge de la pose des équipements ferroviaires, la plateforme ferroviaire, les plateformes annexes pour certains équipements ferroviaires ainsi que les voiries d'accès à ces plateformes. L'allotissement est synthétisé dans le tableau 5.

Par ailleurs, sur les tronçons A et C, des opérations préliminaires au moyen de petits marchés de travaux (OPA1, OPA2, OPC1), à la procédure de consultation plus courte, ont permis de faciliter le démarrage de travaux prioritaires définis dans certains TOARC.

Les travaux de clôtures, d'aménagements paysagers, de créations de mares en substitution des zones humides détruites, de génie écologique des dérivations hydrauliques et de finitions ont fait l'objet de marchés spécifiques.

À noter que les maîtres d'œuvre Setec et Egis ont produit tous les dossiers administratifs préalables aux travaux (Dossiers Police de l'Eau, Défrichage, ICPE et bruit de chantier) ainsi que ceux nécessaires aux suivis des engagements de l'État. □

ABSTRACT

CIVIL ENGINEERING TECHNICAL DESIGN

JEAN BERNARD, SETEC - VINCENT MARTIN, EGIS

In geometric terms, the requirements of a high-speed rail line designed to be travelled at 350 km/h are such that its design in a relief as undulating as the Burgundy or Franche-Comté region requires numerous very large civil engineering structures, with the associated earthworks. The generally unfavourable geology, usually of compressible soils or rocky but karstic soils, increases the complexity of the civil engineering design and works. □

EL PROYECTO TÉCNICO DE INGENIERÍA CIVIL

JEAN BERNARD, SETEC - VINCENT MARTIN, EGIS

En términos de geometría, las exigencias de una línea de alta velocidad, diseñada para alcanzar 350 km/h son tales que su diseño en un relieve tan accidentado como el de Borgoña y el Franco Condado tiene que recurrir a importantes obras de ingeniería civil, tanto en movimientos de tierras como en estructuras. Una geología globalmente desfavorable, que presenta mayoritariamente suelos compresibles o rocosos pero kársticos, aumenta la complejidad del diseño y de las obras de ingeniería civil. □



1- Les talus instables dans les sables du déblai D040, lot A1/A2.

1- Unstable embankments in the sands of earth cut D040, work section A1/A2.

© PHOTOTHÈQUES SETEC ET EGIS

LES TERRASSEMENTS ET LES DIFFICULTÉS GÉOTECHNIQUES RENCONTRÉES

AUTEURS : LUC BOUTONNIER, CHEF DE PROJET GÉOTECHNIQUE DU TRONÇON B, EGIS GÉOTECHNIQUE - THIERRY MOLLIER, RESPONSABLE DU SERVICE GÉOTECHNIQUE DES TERRASSEMENTS, EGIS GÉOTECHNIQUE - MICHEL ZORPI, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE ET KARST DES TRONÇONS A ET C, SETEC - PIERRE-CHRISTOPHE VÉLASQUE, RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT D'INGÉNIEURIE GÉOTECHNIQUE, SETEC

DANS LE DOMAINE DE LA GÉOTECHNIQUE ET DES TERRASSEMENTS, DE NOMBREUX DÉFIS ONT ÉTÉ RELEVÉS SUR L'OPÉRATION : RÉUTILISATION DES MARNES DU LIAS, DU TRIAS ET DU PLIOCÈNE, REMBLAIS D'ESSAI POUR VALIDER LES PARAMÈTRES DE CONSOLIDATION DES MARNES ALTÉRÉES, TRAVERSÉE DE ZONES COMPRESSIBLES MAJEURES, OUVERTURE DE CINQ EMPRUNTS PAR RFF POUR LA MAÎTRISE DES APPROVISIONNEMENTS ET, POUR LA PREMIÈRE FOIS, ÉLABORATION DE LA SOUS-COUCHE FERROVIAIRE À PARTIR DE CALCAIRES DU SECONDAIRE ISSUS DE CARRIÈRES LOCALES.

CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Les terrassements de la branche Est de la LGV Rhin Rhône (1^{re} phase) représentent plus de 30 millions de mètres cubes de déblais sur 140 km de ligne. Ces travaux, exceptionnels par leur ampleur, se doublent de nombreuses difficultés techniques :

(a) Recherche de l'équilibre entre les ressources et les besoins en matériaux : réemploi des sols fins et des marnes après traitement, optimisation des déblais et/ou recours à des emprunts de matériaux nobles proches du tracé, transport limité des matériaux ;
(b) Franchissement de zones à caracté-

rière compressible et optimisation des dispositions constructives dans les zones peu compressibles (remblais d'essais dans les marnes altérées) ;
(c) Stabilité des talus de déblai dans les marnes et les formations alluviales des vallées de la Saône et de l'Ognon ;
(d) Présence de zones à risques de

cavités (karsts des plateaux jurassiens). Nous présentons ici les principaux chiffres caractérisant les terrassements du projet et quelques exemples sur les thématiques (a), (b) et (c) sur les tronçons étudiés par Setec ou par Egis, les deux maître d'œuvre de l'opération. Le thème (d) est abordé dans un second article.

TABLEAU 1 : SYNOPTIQUE MARCHÉS TRAVAUX ET VOLUMES TERRASSEMENTS

Coupure vallée viaduc	Saône										Ognon					Quenoche/Limotte					Ognon moyen					Epenottes					Lizaine			Savoireuse		
	0	6	10	15	20	26	30	35	40	45	50	57	60	65	70	77	80	85	89	95	100	105	110	114	120	125	130	135	140							
Géologie	Plio-IV		Jurassique (+ Crétacé)								Jurassique					Lias et Trias					Jurassique					Plio - IVaire			Total							
Lot terrassement	A1/A2		A3			A4					B1					B3					C1/C2					C3/C4/C5										
Déblais (Mm³)	1,5		2,7			4,4					5,4					4,5					6,4					1,7					7,9			34,5		
Remblais (Mm³)	0,9		2,3			3,3					3,4					7,1					0,8					5,7			23,5							
Emprunts (Mm³)						1,5					0,8										0,3															

Chiffres sans la sous-couche

TERRASSEMENTS : LES COUPURES, L'ALLOTISSEMENT, LES ENTREPRISES, LA GÉOLOGIE ET LES VOLUMES

Pour les travaux de génie civil, les 140 km du projet sont découpés en trois lots de maîtrise d'œuvre : lot A (Setec), lot B (Egis Rail) et lot C (Setec). Le synoptique des marchés travaux en fonction des PK (tableau 1) permet d'identifier les principales coupures qui ont structuré le périmètre des TOARC.

LA GÉOLOGIE ET LE RELIEF

La ligne nouvelle à grande vitesse Rhin-Rhône relie deux bassins d'effondrement - le bassin de Bresse à l'Ouest et le fossé Rhénan à l'Est - et se développe au contact de deux grandes unités structurales contrastées - le Bassin Parisien au Nord (plateaux de Haute Saône) et la chaîne du Jura au Sud (avant-monts pré-jurassiens). Le corridor au sein duquel s'inscrit la LGV Rhin-Rhône correspond à la vallée de l'Ognon qui se superpose à une zone de dislocation tectonique majeure, marqué par d'importants accidents d'orientation méridienne affectant un relief globalement tabulaire.

Dans ce contexte général :

→ Le tronçon A traverse la vallée de la Saône puis emprunte la vallée de l'Ognon jusqu'au Nord de Besançon, caractérisées par des dépôts alluviaux plio-quatérnaires (alluvions sableuses ou limoneuses, marnes pliocènes de Bresse) reposant sur un substratum calcaire du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur ;

→ Le tronçon B et la partie Ouest du tronçon C (sur 18 km) s'inscrivent d'abord sur la terminaison méridionale des plateaux de Haute Saône, puis interceptent les collines pré-juras-

siennes au relief marqué, constituées par les formations sédimentaires calcaires, marno-calcaires et marneuses du Trias et du Jurassique. Les assises principalement carbonatées sont affectées par des phénomènes de karstification parfois intenses mais peu connectés ;

→ À partir de la vallée de la Savoieuse et jusqu'à la fin du tracé, le tronçon C occupe la plaine rhénane au sens large, caractérisée par les premiers épandages fluviaux des Vosges (cailloutis du Sundgau) de forte épaisseur, coiffés par des dépôts d'origine éolienne (loess et lehm).

LES VOLUMES DE TERRASSEMENTS

Les principaux chiffres sont donnés dans le tableau 1. Ils sont en relation directe avec la géologie et la nature plus ou moins accidentée du relief.

2- Zonage conception remblai lot B3 dans les marnes.

2- Embankment design zoning for work section B3 in marls.

LA GESTION DES MATÉRIAUX

L'optimisation économique du projet passe par :

→ Une valorisation maximale des matériaux des déblais pour couvrir les besoins en différents types de matériaux des ouvrages à construire (corps de remblais courant, matériaux nobles granulaires, etc.) ;

→ L'optimisation des distances de transport.

EXEMPLE DU LOT B3

Stratégie matériaux nobles

Ce lot comprend un linéaire de 23 km de marnes du Lias/Trias avec des déblais atteignant plus de 20 mètres de profondeur. Cette section du projet présente des besoins importants en matériaux granulaires : masques pour les déblais dans les marnes, bases de remblais en zones inondables ou zones humides et blocs techniques d'ouvrages d'art.

Pour couvrir ces besoins, des emprunts à proximité du projet ont été recherchés dès la phase avant-projet. De plus, l'allotissement a confié au lot B3 une part importante du projet recoupant des déblais calcaires situés à l'Ouest de la vallée de l'Ognon moyen.

Ces déblais ont permis de couvrir largement les besoins en matériaux granulaires de la section située dans le

contexte marneux à l'Est (Lias et Trias), comme illustré sur le tableau 1.

Néanmoins, un ouvrage provisoire sur l'Ognon et une importante piste de chantier ont été construits pour acheminer les matériaux des déblais vers les zones de besoin.

Valorisation des « marnes » du Lias/Trias

Dans les formations marneuses, suivant la densité sèche initiale à la mise en œuvre, il existe un risque de gonflement ou bien d'effondrement à l'imbibition. Les marnes irisées inférieures (Trias) présentent de plus un risque de présence de gypse.

Une réutilisation optimale des matériaux argileux ou marneux a été rendue possible avec les études et dispositions constructives suivantes (figure 2) :

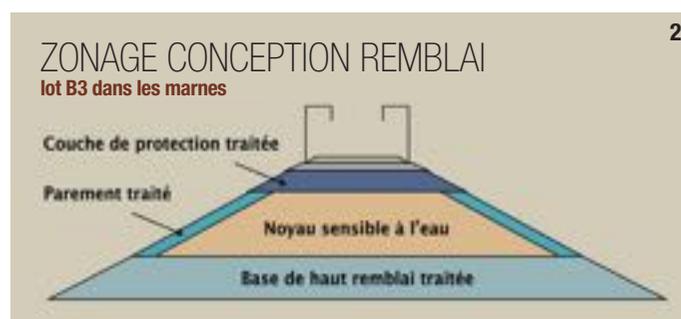
→ Étude de traitement en laboratoire de tous les faciès. Beaucoup de matériaux ont été valorisés en PST traitée, en base traitée de remblai de grande hauteur ou en parement de talus de remblai traité. Lors des études d'exécution, l'entreprise a testé de nombreux liants pour élargir le spectre des matériaux réutilisables.

→ Confinement en noyau des matériaux inaptes au traitement pour éviter l'évolution de leur teneur en eau. Ces matériaux ont été mis en œuvre à des teneurs en eau proches de l'optimum Proctor ou coté humide.

En ce qui concerne le gypse, il est apparu en général sous forme très ponctuelle dans les déblais ce qui n'a donc pas entravé de manière importante la valorisation des matériaux des déblais.

UNE SOUS-COUCHE ÉLABORÉE À PARTIR DE CARRIÈRES LOCALES

Pour la LGV Rhin-Rhône, l'épaisseur de sous-couche était de 0,20 m avec un objectif de densification q3.





© PHOTO THÉRIÈRES SETEC ET EGIS

Pour atteindre l'objectif de résistance $R = LA + MDE \leq 40$ imposé par le référentiel (ST590B), les Entreprises de travaux des tronçons A et B ont proposé des granulats calcaires du Bathonien. L'économie est de 40 % par rapport aux estimations initiales (fourniture extérieure avec des matériaux éruptifs de carrières agréées LGV, éloignées du chantier). Le gain est aussi environnemental avec une réduction des distances de transport.

Les carrières agréées de Chemaudin et Marchaux (Doubs), Jouhe et Bezain (Jura) et Villers-la-Faye (Côte-d'Or) ont ainsi produit environ 300 000 m³ de granulats.

La résistance R moyenne des calcaires bathoniens de ces carrières est voisine de 37. De ce fait, la fabrication et l'approvisionnement de ces granulats ont fait l'objet de contrôles plus fréquents et multiples (carriers, Entreprise de travaux, Contrôle extérieur) que ceux prescrits par la ST 590B.

Enfin, les compacités obtenues (compacteurs V5 et à pneus P2) ont dépassé le niveau q3. La plate-forme constituée par la sous-couche a présenté une excellente tenue lors des travaux des équipements ferroviaires.

Cette solution de sous-couche élaborée à partir de calcaires du Secondaire constitue une « première » pour les lignes à grande vitesse (figure 3).

FRANCHISSEMENT DES ZONES COMPRESSIBLES

Les tolérances de tassement pour les remblais sont les suivantes :

- Moins de 2 cm de tassement à la réception de la sous-couche ;
- Tassement primaire complètement dissipé à la réception de la voie ;
- Quelques millimètres de fluage par an admis après la mise en service (tassement différentiel admissible $\leq 4\text{mm/an}$ sur 30 m)

Le tracé recoupe de nombreuses vallées présentant des formations alluvionnaires limoneuses ou argileuses

compressibles. Elles ont nécessité un traitement des assises des remblais (purge, drains verticaux et/ou montée phasée).

Par ailleurs, sur le tronçon B, la compressibilité des marnes altérées n'est pas négligeable compte tenu des objectifs de tassements résiduels. Egis a optimisé les dispositions constructives avec la réalisation de remblais d'essais.

TRAITEMENT DES SOLS COMPRESSIBLES

Des sols compressibles atteignant 5 m d'épaisseur, ont été identifiés sur tous les tronçons (plus de dix remblais au total).

Les délais de consolidation de ces matériaux étant incompatibles avec la durée du chantier, le recours à des purges (pour de faibles épaisseurs) ou des accélérations par drainage vertical, avec anticipation de la surcharge ferroviaire, a été systématique. Le linéaire de drains plats géosynthétiques fondés dans le sol pour les lots A4 et C3 dépasse 500 km (figure 4).

En particulier, pour la consolidation par drainage vertical, la base drainante granulaire a été remplacée par endroits sur le lot C3 par un géocomposite drainant sur base en sol traité, permettant de limiter le recours aux matériaux granulaires d'apport extérieur.

L'ensemble de ces zones compressibles a été instrumenté par profilomètres, cellules de pressions intersititiales et parfois inclinomètres.

Sur les tronçons A et C

Les amplitudes de tassements constatées ont été inférieures aux valeurs calculées d'après les valeurs oedométriques obtenues en laboratoire, et assez voisines de celles calculées par la méthode pressiométrique. De même, les délais de consolidation effectifs ont été inférieurs aux temps estimés par le calcul. Ainsi, pour les alluvions récentes à faciès limoneux dominant, l'analyse comparative des valeurs retenues lors des études et des valeurs issues des

3- Le gisement réservé pour la sous-couche de la carrière de Jouhe (39), lots A1/A2 et A4.

4- Le champ de drains verticaux de la vallée du Recologne, lot A4.

3- The deposit reserved for the sub-base in the Jouhe quarry, work sections A1/A2 and A4.

4- The vertical drain field of Recologne Valley, work section A4.

nements irréalistes pour les sols intermédiaires comme les marnes altérées. Confronté à cette difficulté, Egis a mis au point une procédure de recalage des paramètres de consolidation en construisant des remblais d'essais. Cette démarche a déjà été utilisée avec succès sur la LGV EST lot 32^[1]. Elle a été reproduite avec efficacité sur l'opération LGV Rhin Rhône lot B3^[2] : elle a permis une économie importante de drains et la maîtrise des délais de consolidation sur les ouvrages présentant des enjeux.

L'analyse théorique du problème a fait l'objet de travaux^[3] qui sont en cours d'approfondissement dans le cadre du projet ANR TERREDURABLE piloté par Egis Géotechnique (figure 5).

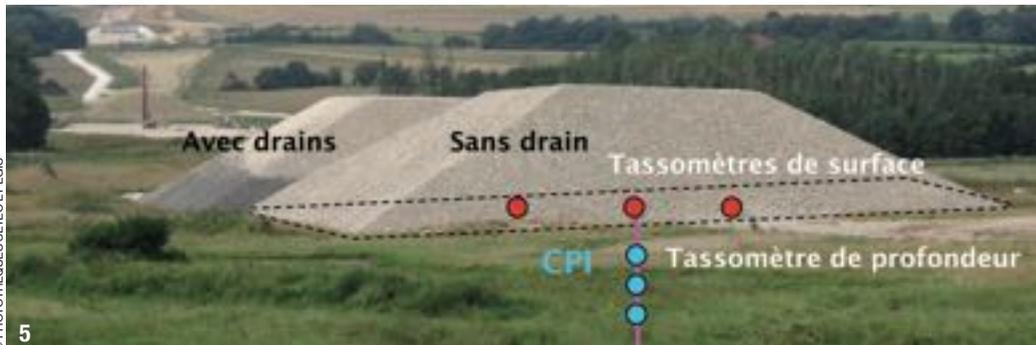
STABILITÉ DES TALUS DE DÉBLAIS

Le projet recoupe des formations sensibles en déblai. Ce chapitre présente plusieurs cas de déblais où des techniques particulières ont dû être utilisées.

LES DÉBLAIS DANS LES SABLES PLIOCÈNES DU LOT A1/A2

Au niveau du déblai DB 040, d'une profondeur d'une douzaine de mètres, le tracé recoupe les sables aquifères du Pliocène surmontant les marnes de Bresse, peu perméables. Ces sables sont recouverts par les limons argileux de la vallée de la Saône.

Le CCTP travaux mentionnait la présence d'une nappe peu profonde et préconisait la réalisation de tranchées drainantes longitudinale, provisoire, préalables au terrassement du déblai. Cette technique n'a pu être mise en application du fait de la réduction de la plate-forme au fur et à mesure du terrassement. D'autre part, les phénomènes de débouillage des sables sous la poussée de la nappe (semi-captive) ainsi que les ravinements dus aux eaux de ruissellement ont été à l'origine d'instabilités des talus.



© PHOTO THÉRIÈRES SETEC ET EGIS

La solution adoptée finalement a été de réaliser le terrassement jusqu'à l'arase du déblai en conservant des talus provisoires (en avancée de 5 m environ par rapport au profil définitif), permettant ainsi un drainage progressif de la nappe. Ensuite, un masque drainant a été réalisé au niveau des talus par plots de 20 à 30 m de largeur (figure 1).

LES DÉBLAIS DANS LES MARNES DU LIAS/TRIAS DU LOT B3

La stabilité des pentes dans les formations du Lias/Trias est délicate. Ces formations sont souvent le siège de mouvements de terrains actifs ou anciens. Le projet recoupe ses formations en déblai jusqu'à 25 mètres de profondeur à l'Est du lot B3. Dans ces conditions, un soin particulier a été apporté à l'analyse de la stabilité des ouvrages dans ces formations : évaluation de la stabilité initiale des pentes (piézomètres, inclinomètres), identification des différents aquifères et mesure des pressions d'eau par cellules de pressions interstitielles sélectives, réalisation de profils en travers avec plusieurs sondages géotechniques, essais

5- Remblai d'essai instrumenté, lot B3.

5- Instrumented test embankment, work section B3.

triaxiaux en nombre suffisant et analyse statistique par formation, analyse vidéo orientée en forage pour déterminer et contrôler l'inclinaison de la stratification dans les roches sédimentaires, etc. Les études ont conduit à retenir des pentes de talus comprises entre 3H/1V et 2H/1V avec des masques pouvant remplir une ou plusieurs fonctions (poids, drainant, protection superficielle). Afin d'anticiper tout problème de stabilité en phase travaux, tous les déblais sensibles ont fait l'objet d'un suivi piézométrique et inclinométrique sur plusieurs profils pendant les travaux. Ces mesures ont permis de contrôler la stabilité pendant toutes les phases de terrassement. Aucun problème de glissement de talus n'a été rencontré sur le chantier.

LES DÉBLAIS DANS LES ARGILES SIDÉROLITHIQUES DU LOT C3

Le déblai DB 140 du lot C3 (700 000 m³, Hmax : 22,5 m) traverse une butte constituée par les calcaires oolithiques du Rauracien J6 (Jurassique sup.) fortement karstifiés (pinacles) et ennoyés sous une couverture d'argile et de sable éocènes (sidérolithique) dont l'épaisseur dépasse 20 m. Lors des études du projet, les pressiomètres réalisés ont mis en évidence des pressions limites très faibles (< 0,5 MPa) en fond de forage (10 à 20 m) sous une couverture plus consolidée (~1 MPa), situation favorable au déclenchement d'instabilités de talus lors du terrassement, en absence d'amélioration préalable du terrain. En phase travaux, des reconnaissances complémentaires (sondages destructifs avec enregistrements de paramètres suivant une maille resserrée à 15 m) et un suivi géologique détaillé au fur et à mesure du terrassement ont permis de mettre en évidence des couloirs argileux de faible extension (poches d'argile de décalcification sous-consolidées au sein du remplissage sidérolithique).

Ces zones argileuses localisées ont été stabilisées avec des masques poids et aucun effondrement ne s'est produit au cours des travaux.

COORDINATION DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

Les études géotechniques effectuées par les équipes des deux maîtres d'œuvre Setec et Egis ont été coordonnées grâce à la tenue de réunions mensuelles « Karst-Géotechnique » organisées par le maître d'ouvrage RFF. Cette action a permis d'homogénéiser la méthodologie dans les études et le suivi géotechnique des travaux sur un projet de grande envergure avec de multiples intervenants.

La « note méthodologique » pour les dimensionnements des ouvrages en terre, produite par Setec et Egis au démarrage des études, constitue un document de base qui est maintenant réutilisé sur de très nombreux projets de LGV.

En phase travaux, le travail de reporting mensuel des problèmes géotechniques auprès du Maître d'Ouvrage a permis d'accélérer les circuits de décision et le règlement des difficultés techniques rencontrées. □

[Références]

- [1] Boutonnier L., Guerpillon Y. (2005). *Reconnaisances géotechniques et critères en déformation dans la conception des ouvrages en terre des lignes ferroviaires à grande vitesse*. Géoline 2005, Lyon, 23-25 mai 2005.
- [2] Voir Revue Travaux n°856 pages 48-52.
- [3] Boutonnier L. (2010). *Mechanics of unsaturated geomaterials*, Chap.14 : *Coefficient B, Consolidation and swelling in Fine Soils near saturation in Engineering Practice*. Ed.L.Laloui, J.Wiley.

ABSTRACT

EARTHWORKS AND GEOTECHNICAL DIFFICULTIES ENCOUNTERED

L. BOUTONNIER, EGIS - T. MOLLIER, EGIS - M. ZORPI, SETEC - P.-C. VÉLASQUE, SETEC

The earthworks for the first phase of the eastern branch of the Rhine-Rhone high-speed rail line represent more than thirty million cubic metres of spoil corresponding to 140 km of tracks and presenting numerous technical difficulties. After a brief presentation of the geology, traffic breaks and work sections of the project, its main technical features are described. Many challenges were addressed: re-use of Lias, Trias and Pliocene marls in the embankments despite unfavourable climatic conditions, erection of test embankments to evaluate the consolidation parameters of weathered marls, crossing of major compressible areas (Saone, Praie and Prelle river valleys) where the expected settlements exceeded 50 cm, and opening of five pits in order to control the supply of fill materials. For the first time, the sub-base was formed using Secondary limestone from quarries near the worksite, according to ST 590 B regulations. □

LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS Y LAS DIFICULTADES GEOTÉCNICAS PLANTEADAS

L. BOUTONNIER, EGIS - T. MOLLIER, EGIS - M. ZORPI, SETEC - P.-C. VÉLASQUE, SETEC

Los movimientos de tierras de la primera fase del ramal este de la LAV Rin-Ródano representan más de treinta millones de metros cúbicos de desmonte en un tramo de 140 km de línea, con numerosas dificultades técnicas. Después de una breve presentación de la geología, recortes del proyecto y de la adjudicación de lotes adoptada, se presentan los principales elementos técnicos del proyecto. Se aceptaron numerosos retos: reutilización de las margas del Liásico, Triásico y del Plioceno para la construcción de los terraplenados a pesar de las desfavorables condiciones climáticas, evaluación de los parámetros de consolidación de las margas alteradas por medio de terraplenes de ensayo, travesía de importantes zonas compresibles, cuyos hundimientos previsibles eran superiores a 50 cm (valles del Saone, Praie y Prelle) y apertura de cinco excavaciones para relleno con objeto de garantizar los aprovisionamientos. Por último, por primera vez, la subcapa se elaboró a partir de calizas del Secundario, procedentes de canteras cercanas a la obra, respetando el referencial ST 590 B. □

TERRASSEMENTS : LE TRAITEMENT DU RISQUE CAVITÉS

AUTEURS : MICHEL ZORPI, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE ET KARST DES TRONÇONS A ET C, SETEC - HERVÉ LE BISSONNAIS, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE OUVRAGES D'ART DES TRONÇONS A ET C, TERRASOL - PIERRE-CHRISTOPHE VÉLASQUE, RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE, SETEC - LUC BOUTONNIER, CHEF DE PROJET GÉOTECHNIQUE DU TRONÇON B, EGIS GÉOTECHNIQUE - JEAN-MARIE LÉONARD, CORRESPONDANT CAVITÉS PHASE TRAVAUX, EGIS GÉOTECHNIQUE - JEAN HECTOR, GÉOLOGUE EXPERT, EGIS GÉOTECHNIQUE

LA GESTION DE LA PROBLÉMATIQUE CAVITÉ, TOUT AU LONG DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE L'OPÉRATION, EN ASSOCIANT MAÎTRES D'ŒUVRE, MAÎTRE D'OUVRAGE ET ENTREPRISES AU TRAVERS DES CONTRATS DE TRAVAUX, A PERMIS DE GARANTIR ET DE JUSTIFIER LA MAÎTRISE DES RISQUES SUR L'OUVRAGE, NOTAMMENT LORS DU PROCESSUS D'APPROBATION DU DOSSIER SÉCURITÉ PRÉALABLE À LA MISE EN SERVICE COMMERCIALE DE LA LIGNE.



CADRE DE L'OPÉRATION ET ENJEUX

La maîtrise des risques géotechniques (et notamment ceux liés à l'aléa cavité) constitue un enjeu très important, accentué par le fait qu'une LGV est construite pour 100 ans.

La ligne nouvelle à grande vitesse Rhin-Rhône (branche Est) se situe dans une

zone de dislocation tectonique majeure, affectant des formations calcaires jurassiques très karstifiables et marquées par d'importants accidents transverses (figure 3), favorables au développement de phénomènes karstiques nombreux et étendus. L'aléa karstique concerne 110 km sur les 140 km de ligne, depuis Brans sur le tronçon A jusqu'à la vallée

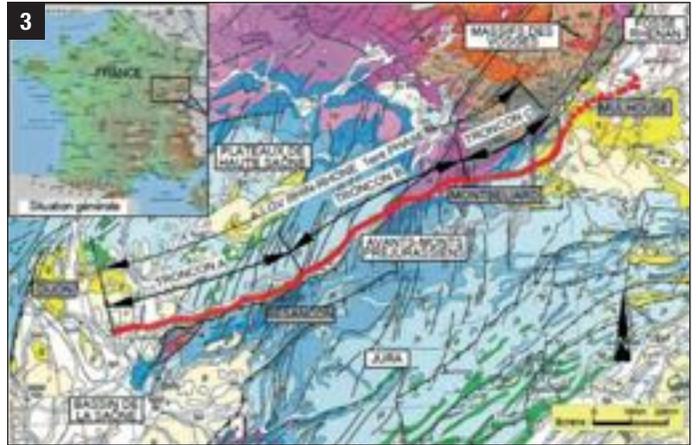
1- Mise à jour du karst lors de la purge (viaduc du Perthuis).

1- Uncovering karst during rock removal (Perthuis viaduct).

de la Savoureuse (milieu du tronçon C), ce qui en fait un risque majeur.

APPROCHE METHODOLOGIQUE

La présence de « karsts » (au sens large) induit au niveau du chantier, puis de la ligne en exploitation, un risque d'ordre géotechnique (effondrements,



2- Visite d'une cavité découverte.
3- Contexte géologique et structural de la LGV Rhin-Rhône (Source : BRGM).

2- Visiting a discovered cavity.
3- Geological and structural context of the Rhine-Rhône high-speed train line.

vaux : prestation confiée directement au bureau d'études géophysiques et non à l'Entreprise compte tenu de retours d'expérience négatifs sur d'autres chantiers. À l'issue du PRO, les anomalies envisagées sur le tronçon B étaient soit des cavités franches (type 1), soit des karsts remplis d'argile (type 2) ou des dolines (type 3). Un traitement était prévu pour chaque type d'anomalie : comblement au mortier de sable des cavités franches, substitution des argiles de décalcification, traitement par jet-grouting et matelas de répartition des zones de dolines.

fontis) et un impact hydrogéologique qualitatif (pollution) et quantitatif (source tarie, résurgence).

La méthodologie mise en œuvre sur le projet est encadrée par la procédure RFF « Suivre et gérer les cavités », mise à jour pour chaque ligne nouvelle et adaptée aux spécificités de l'opération avec les 2 maîtres d'œuvre lors de réunions préparatoires.

En particulier, un géologue spécialisé « karst » a été mis en place au sein des équipes de maîtrise d'œuvre pour toute la durée des travaux. Tout au long des travaux, des réunions thématiques bimensuelles ont été mises en place par les maîtres d'œuvres afin d'assurer au Maître d'ouvrage RFF la meilleure visibilité possible des problématiques liées aux cavités.

MÉTHODOLOGIE SETEC : ANTICIPER POUR NE PAS SUBIR

Pour les tronçons A et C, le maître d'œuvre SETEC a développé et mis en application une gestion intégrée du risque karstique depuis les études d'avant-projet jusqu'à la réception des travaux, consistant à gérer le risque cavités non plus comme un aléa de chantier, traité en événement au cas par cas, mais comme une problématique géotechnique classique des

travaux de génie civil, au même titre, par exemple, que le franchissement des zones compressibles [M. Zorpi et al., *Symposium International GEORAIL 2011, Paris 19-20 mai 2011*].

Le retour d'expérience de chantiers réalisés dans des environnements karstiques comparables a montré qu'il y avait un enjeu important vis-à-vis de la tenue des plannings travaux d'une part, et de la maîtrise du budget de l'opération d'autre part, si les solutions techniques de traitement des anomalies karstiques n'étaient pas clairement définies et chiffrées préalablement au lancement des travaux. Les points forts de la méthode sont notamment :

→ L'approche globale du risque cavité

afin de cibler les contextes «karstiques» propices ;

→ L'anticipation des zones à risques et des méthodes de traitement ;

→ La responsabilisation de l'Entreprise et la limitation des interfaces entre intervenants.

Cette approche méthodologique a parfois eu tendance à surestimer le risque géotechnique en phase de conception, mais elle a permis de maîtriser les plannings et les coûts en phase de réalisation.

MÉTHODOLOGIE EGIS

La différence principale est dans l'organisation des reconnaissances géophysiques en fond de déblai en phase tra-

TABLEAU 1 : LA GESTION DE L'ALÉA CAVITÉ EN CHIFFRES

LGV RR	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Total
Linéaire (km)	55	57	28	140
Nombre de FIC (cas n°1)	7	24	54	85
Nombre de FIC (cas n°2)	29	91	115	235
Nombre de FIC (cas n°3)	0	91	17	108
Total de FIC par tronçon	36	206	186	428
Nombre d'interventions spéléologiques	2	10	33	45

SUIVI DES TRAVAUX

La procédure RFF « Suivre et gérer les cavités » implique de la part des différents acteurs œuvrant sur le chantier LGV, la mise en place d'un suivi avec ouverture d'une Fiche d'Identification de Cavité (FIC) en cas de découverte d'indice ou de cavité.

Cette méthodologie a été adaptée pour distinguer 3 cas dans les FIC :

→ **Cas n°1** : cavité détruite lors du terrassement ;

→ **Cas n°2** : cavité de type connu avec traitement prévu et chiffré au marché ;

→ **Cas n°3** : cavité non prévue en études, dont le traitement nécessite une validation RFF.

LE FICHAGE DES INDICES DE CAVITÉ

La FIC constitue une véritable fiche descriptive et archivable pour chaque indice karstique trouvé en cours de travaux. Les fiches navettes définies par RFF n'ont pas été utilisées du fait des réunions périodiques faites avec le MOA et son AMOT.

Le tableau 1 montre la prédominance de l'aléa karstique au niveau des tronçons B et C, traversant les plateaux calcaires jurassiques.

Pour le tronçon B, le principal évènement justifiant certains cas n°3 concerne les cavités en terrain meuble. La problématique est développée plus loin.

LE KARST PROFOND DU DÉBLAI DB 140 (LOT C3) : UN KARST SOUS SURVEILLANCE

Le déblai DBT 140 est considéré comme un ouvrage sensible en raison de la présence d'un réseau karstique important et actif à proximité immédiate de la plate-forme ferroviaire.

Lors du terrassement, de nombreux indices de cavités ont été découverts montrant successivement les parties

supérieure, moyenne et inférieure du karst : zone d'infiltration sous couverture argileuse (épikarst), zone des cheminées verticales (zone vadose), méandre actif en fond (zone épinoyée). Au niveau de l'arase, des fractures (de faible ouverture) transverses au tracé ont été recensées ainsi que des entrées de puits de grande dimension verticale : c'est le cas des indices FIC n°72 et 102, talus inférieur côté V2 (figure 4). Les interventions spéléologiques pratiquées (groupement GEOLITHE-HYDRO-KARST) ont permis de cartographier le réseau essentiellement vertical et de mettre en évidence des circulations actives en fond : diagnostic complété

4- Cavités 72 et 102 depuis l'arase terrassement.

5- Schéma géomorphologique reconstituant la cavité.

4- Cavities 72 and 102 from the earthworks levelling course.

5- Geomorphological diagram reconstituting the cavity.

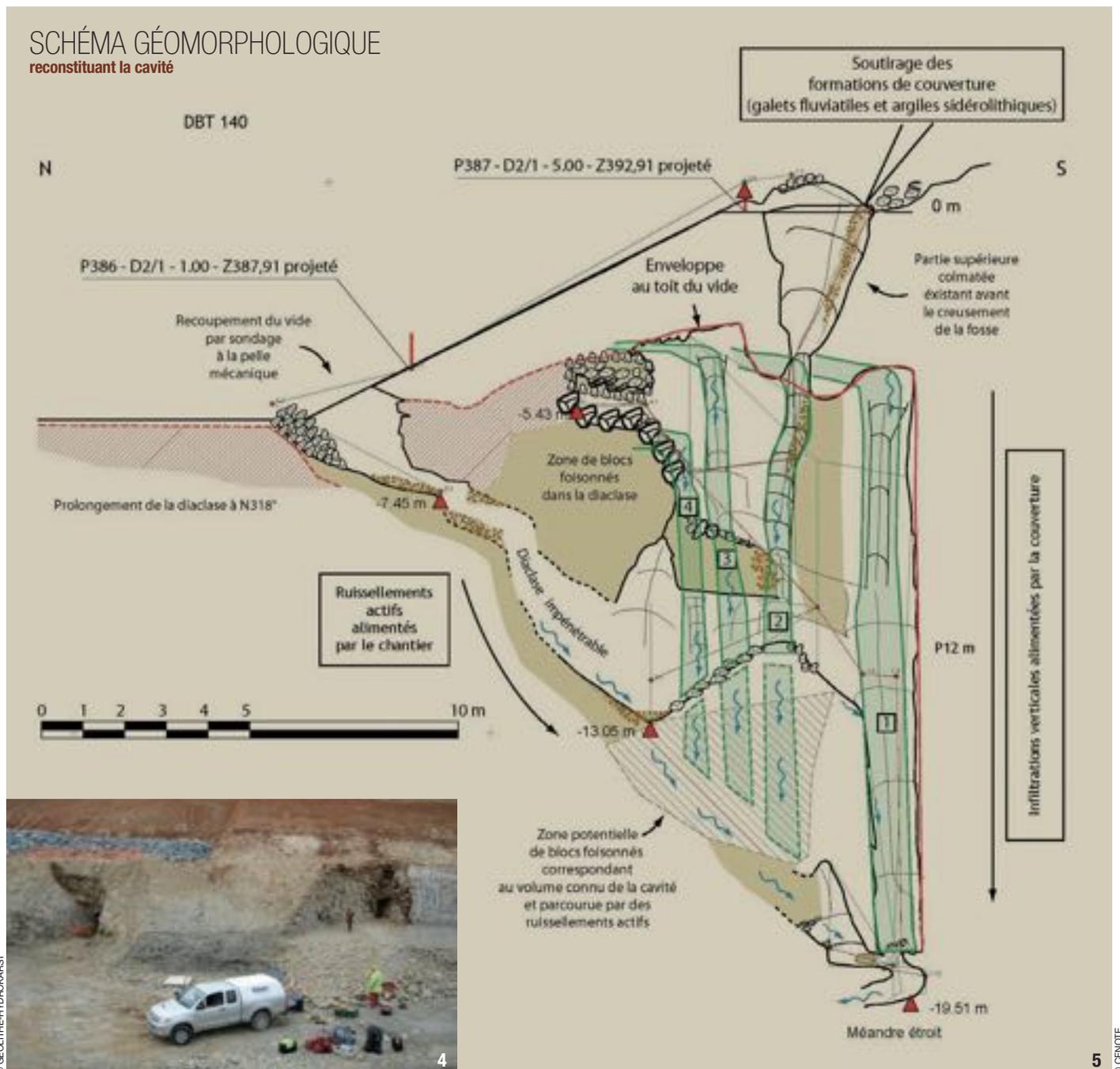
par l'intervention de karstologues de la société CENOTE qui ont précisé la morphologie du réseau (figure 5).

Le traçage réalisé par le bureau d'études CALLIGEE a permis de confirmer la relation de ce karst avec la source karstique des Baumettes (captage AEP de la commune d'Issans) et sa possible mise en charge.

Les cavités n°72 et 102 ont donc été traitées de façon à préserver l'intégrité des conduits profonds, empruntés par les circulations souterraines actives et de permettre un suivi périodique pour vérifier l'absence d'évolution.

Les travaux ont été réalisés avec l'assistance d'équipes de spéléologues.

SCHÉMA GÉOMORPHOLOGIQUE reconstituant la cavité



© GEOLITHE-HYDROKARST

© CENOTE



© SETEC

Après réalésage au BRH et purge des remplissages argileux, les fronts ont été renforcés par une paroi en béton épinglé afin de protéger les puits verticaux. Le talus a été conforté à la base par une dalle en béton (sur géotextile), surmontée par un masque-poids granulaire.

La cavité n°72 a, en outre, été équipée d'un accès visitable (buses béton débouchant dans le talus du masque réalisé), permettant d'accéder au réseau conservé en l'état. Cet aménagement fait l'objet d'une surveillance régulière par une société spécialisée afin de suivre le débit et la qualité des circulations souterraines.

LE KARST DU VIADUC DU PERTUIS (LOT C2) : UN KARST ARTIFICIEL

Le viaduc du Pertuis franchit la vallée du Rupt. Les études de projet ont décelé la présence d'indices karstiques (galeries souterraines avec circulations actives, vides colmatés par un remplissage argileux) sous la pile P1 et la culée C5 de l'ouvrage.

La présence de ce karst actif dont la partie supérieure est fortement fissurée et argilisée, a été confirmée par les reconnaissances en phase travaux programmés dans le marché : sondages destructifs en mailles serrées avec possibilité d'injection de coulis. Ceci a permis une cartographie des réseaux. La reconnaissance a été complétée par

6- Pose de l'OH au niveau de la galerie principale.

7- Cavité en terrain meuble.

6- Laying the culvert at the level of the main gallery.

7- Cavity in unconsolidated strata.

la réalisation d'un puits de reconnaissance (diamètre 1 500) de 15 m de profondeur au niveau de la pile P1 et de la culée C5 afin de permettre une exploration spéléologique (confiée aux sociétés GEOLITHE et HYDROKARST).



© EGIS

de 40 000 m³, afin d'assurer la stabilité géotechnique de la culée C5 ;

→ La pose d'un ouvrage hydraulique (diamètre 1 000) en béton préfabriqué sur radier bétonné, pour assurer la continuité hydraulique de la galerie (figure 6) ;

→ La reconstitution du remblai de purge en matériaux R21 compactés sous le bloc technique.

Un nouveau puits de reconnaissance a été foré en pied de la culée afin de pouvoir ausculter le fonctionnement hydraulique de l'aménagement.

LES PALÉOKARSTS DES REMBLAIS RBT 152 ET 188

Sur le tronçon B, les types de cavités définis dans la méthodologie Egis ci-avant ont pu être traités sans difficulté. Par exemple, le franchissement des dolines avec des colonnes de jet-grouting et un matelas granulaire ont bien fonctionné (cf. article revue travaux n°856).

Néanmoins, un nouveau type de cavité a été mis en évidence pendant les travaux.

Dans le remblai RBT 152, une cavité franche au sein des argiles à chailles reposant sur l'Argovien, d'environ 3 m de profondeur pour un diamètre de 2 m a été mise à jour pendant les travaux (figure 7). Un terrassement de 4 m de profondeur a été réalisé sans atteindre le toit du calcaire situé environ 6 m plus bas. Une cavité analogue a été observée sur le remblai RBT 188. D'autres cavités, de taille moins importante, ont également été rencontrées sur d'autres ouvrages.

Les cavités du RBT 152 et 188 étaient situées dans des zones sans doline visible et avec un fort recouvrement en terrain meuble (de l'ordre de 10 mètres) sur le substratum calcaire du Jurassique.

Une analyse détaillée de ces zones montre qu'un réseau karstique ancien, globalement colmaté, est présent sous la couverture meuble. Ce réseau s'est particulièrement développé le long de failles importantes présentes au droit de chacun de ces ouvrages. Par ailleurs, la base des terrains meubles est saturée et le bassin versant d'infiltration est important au droit de ces ouvrages. La conjonction de ces éléments semble être à l'origine des cavités rencontrées en combinant des phénomènes d'érosion interne dus à la concentration des écoulements au toit du substratum et des phénomènes d'infiltration occasionnelle dans le substratum karstifié qui est globalement plutôt colmaté. ▷



Compte tenu de ce diagnostic, une purge totale des terrains meubles a été préconisée en assise de ces deux remblais (figure 8). Les figures de dissolution en fond de purge ont été pontées par géotextiles renforcés ou bien par une épaisseur importante de remblai dilatant.

BILAN ET RETOUR D'EXPERIENCE

Pour les tronçons A et C :

→ Sauf rares exceptions, l'ensemble des systèmes karstiques détectés en phase étude a été mis en évidence en phase de réalisation et traité avec les solutions prévues dans les marchés de travaux. Les cas n°3, nécessitant

l'approbation du MOA, ont été limités ;

→ Les délais de travaux ont été maîtrisés, et peu ou pas impactés par la problématique « cavité » ;

→ Le coût effectif des travaux de traitement des karsts a été nettement inférieur aux estimations prévisionnelles du projet.

L'aboutissement de la démarche est un aménagement justifié et fiable où toutes les données relatives à la problématique « cavité », ont pu être parfaitement tracées, et reprises de façon exhaustive et homogène dans le Dossier de Sécurité.

→ Les délais de travaux ont été maîtrisés, et peu ou pas impactés par la problématique karst.

8- Vue générale de la purge du remblai RBT152.

8- General view of rock removal from embankment RBT152.

ont pu être traitées avec les techniques prévues au marché (purges, injection, jet-grouting avec matelas de répartition). Elles n'ont pas posé de difficulté majeure. Néanmoins, en phase travaux, la découverte de cavités de taille importante dans les terrains meubles a nécessité une analyse spécifique et la définition d'un risque de cavité en terrain meuble. Des reconnaissances complémentaires ont été réalisées dans les zones à risque et des dispositions constructives spécifiques ont dû être définies (géotextile renforcé, étanchéité des fossés). Pour les remblais les plus sensibles (RBT 152 et RBT 188), une purge totale des terrains meubles a été effectuée. □

Pour le tronçon B, les cavités conformes à la typologie définie en phase étude (cavités de dissolution vides ou remplies d'argiles dans le rocher et zones de dolines dans la couverture meuble)

ABSTRACT

EARTHWORKS: CAVITY RISK TREATMENT

M. ZORPI, SETEC - H. LE BISSONNAIS, TERRASOL - P.-C. VÉLASQUE, SETEC - L. BOUTONNIER, EGIS - J.-M. LÉONARD, EGIS - J. HECTOR, EGIS

Control of karstic risks is a major challenge for high-speed rail lines, built for a period of 100 years, with no possibility of suspension of service except in degraded mode. The Rhine-Rhone high-speed train line passes through the calcareous plateaus of the Haute-Saône region and the pre-Jurassic foothills where karsts were encountered. During the works, more than 400 signs of cavities were identified and processed. After a reminder of the methodology applied for the management of project cavity risks, the article discusses some of the most peculiar cases come across. The result is a structure on which management of karstic risks has been controlled (quality, cost, deadlines), thanks to an approach focused on allowing for the cavity issue as of the design stage and on forward planning of treatment techniques. □

MOVIMIENTOS DE TIERRAS: TRATAMIENTO DEL RIESGO DE CAVIDADES

M. ZORPI, SETEC - H. LE BISSONNAIS, TERRASOL - P.-C. VÉLASQUE, SETEC - L. BOUTONNIER, EGIS - J.-M. LÉONARD, EGIS - J. HECTOR, EGIS

El control de los riesgos kársticos es un reto de primera importancia para las LAV, construidas para un periodo de 100 años, sin posibilidad de interrupción del servicio salvo en funcionalidad reducida. La LAV Rin-Ródano Ramal Este atraviesa las mesetas calcáreas de Alto Saona y las estribaciones prejurásicas donde se han encontrado karsts. Durante las obras, se han observado y tratado más de 400 indicios de cavidades. Después de un recordatorio de la metodología aplicada en materia de gestión de los riesgos de cavidades en el proyecto, el artículo aborda algunos de los casos más singulares encontrados. El resultado es una obra en la que se ha controlado la gestión de los riesgos kársticos (calidad, coste y plazos) gracias a un procedimiento centrado en la integración de la problemática de las cavidades desde la fase del diseño y en la anticipación de las técnicas de tratamiento. □

SPECIALISTE



BELL est le spécialiste en matière de tombereaux articulés. Cette spécialisation résulte d'une focalisation sur ce produit de notre bureau "Recherche et Développement" pour répondre aux attentes des marchés mondiaux les plus exigeants, d'un partenariat étroit avec les meilleurs leaders internationaux en technologie et d'une forte éthique familiale dans le monde de l'entreprise.

Trouvez la machine qui correspond le mieux à vos besoins au travers de la plus grande gamme de tombereaux articulés du monde. A votre disposition, nous mettons une expérience exceptionnelle, une productivité performante, un confort remarquable et la garantie du plus faible coût à la tonne transportée. De plus, votre empreinte carbone sera réduite grâce à un rendement énergétique inégalé.

Dans les périodes économiquement difficiles, il est bon d'avoir un spécialiste dans votre équipe.

Rejoignez notre famille.

Tel: +33 555 89 23 56
Email: infos@fr.bellequipment.com

www.bellequipment.com

**Des Machines Solides Et Fiables
Un Service Solide Et Fiable**

BELL



LES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA SAÔNE

AUTEURS : LAURENT MAZZUCHELLI, RESPONSABLE DU TRONÇON A, RFF - DANIEL PRATS ET HERVÉ TOURLET, EN CHARGE DE LA CONCEPTION DES OUVRAGES, SETEC - JOCELYN POULAIN, EN CHARGE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE TRAVAUX DE L'OUVRAGE, SETEC - LAURENT BASTARD-ROSSET, RESPONSABLE DU GROUPEMENT DE CONSTRUCTION, VINCI CONSTRUCTION

LE FRANCHISSEMENT DE LA VALLÉE DE LA SAÔNE PAR LA LGV DEVAIT RÉPONDRE À DE NOMBREUX ENJEUX QUE CE SOIT EN PHASE DE CONCEPTION OU DE RÉALISATION. L'ARTICLE DÉCRIT COMMENT, SUR 3 KM DE LIGNE, ONT ÉTÉ INTÉGRÉES LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES (INONDATIONS, CHAMP CAPTANT...), LES CONTRAINTES STRUCTURELLES SPÉCIFIQUES À UNE LGV ET LES CONTRAINTES ARCHITECTURALES.

GÉNÉRALITÉS

Les ouvrages de franchissement de la Saône ont déjà fait l'objet d'un article très détaillé dans le numéro 870 d'avril 2010. Le lecteur pourra s'y reporter

pour disposer de plus amples informations sur la conception et la réalisation des ouvrages.

La LGV franchit la vallée de la Saône au moyen de 4 ouvrages d'art non

courants mentionnés d'Ouest en Est :

- En rive droite (à l'Ouest de la Saône) : les ouvrages de décharge d'Athée et de Poncey ;
- Le viaduc de la Saône ;

→ En rive gauche (à l'Est de la Saône) :

l'ouvrage de décharge d'Auxonne. Dans cette zone, la largeur du lit mesurée entre crête des berges est de l'ordre de 120 m.



1- Un train d'essai sur le viaduc de la Saône.
2- Inondation.

1- A test train on the Saône viaduct.
2- Flooding.



© PHOTOÉQUIPE SETEC
2

sement. Le projet doit donc assurer un gabarit de classe 6 pour la navigation sur la Saône, ce qui nécessite de dégager un tirant d'air de 7 m au dessus du niveau normal et de 5,25 m au dessus des PHEN : c'est cette dernière contrainte qui a été déterminante pour le calage du profil en long du viaduc. La passe navigable a une largeur de 41,50 m. La largeur et la position de la passe navigable ont ainsi déterminé l'implantation des piles du viaduc en rivière.

GÉOLOGIE ET GÉOTECHNIQUE

La Saône s'écoule entre le massif vil-lafranchien de Mondragon et le massif de la Serre le long d'une plaine alluviale orientée N 25°.

On trouve en surface des terrains peu résistants (limons), compressibles, dont la purge, lorsqu'elle était envisageable (hors champ captant) est indispensable pour garantir l'assise des blocs techniques, puis des alluvions anciennes, sableuses qui développent rapidement des tassements sous l'action des remblais des blocs techniques qui ont été surchargés à hauteur de la charge d'exploitation (associés dans certains cas à des drains verticaux), et enfin les marnes du substratum géologique présentant une grande disparité des résistances mécaniques. Les ouvrages sont situés en zone non sismique.

L'OUVRAGE DE LA SAÔNE

Le viaduc s'inscrit dans un tracé en plan courbe de rayon 6 000 m : de ce fait, la voie est déversée de 4 % (figure 3).

La largeur utile du tablier est donnée par un entraxe de voies de 4,50 m et des gabarits latéraux de 3,95 m, soit une largeur utile de 12,40 m. Le gabarit latéral de 3,95 m inclut la piste de 0,75 m de large sur chaque voie et cale le nu intérieur du garde-corps et de l'écran garde-ballast.

Le viaduc est constitué d'un tablier en ossature mixte acier-béton bipoutre, constitué de poutres de 2,85 m de haut avec des travées de 45,0 m et 32,5 m en rive. On dénombre 8 appuis dont 2 en rivière. La longueur de l'ouvrage est de 380 m. La longueur totale du viaduc étant inférieure à 450 m, un seul point fixe était nécessaire. Il a été choisi de la positionner sur la culée C9, sur la rive gauche de la Saône (coté Est). Un appareil de dilatation des voies est positionné au niveau de la culée C0, sur la rive droite de la Saône.

Le point fixe est réalisé par deux appareils d'appui à pot fixes sphériques.

LES FONDATIONS

L'implantation de 2 piles dans le champ captant s'est avérée possible, sous réserve que la conception des appuis prenne en compte la contrainte majeure consistant à éviter tout risque de pollution de la nappe pendant les travaux de construction des piles implantées dans le champ captant (puis du tablier).

Du fait des faibles caractéristiques de sol, l'ouvrage est fondé sur pieux.

Les pieux sont de diamètre 1 200 mm en général et 1 500 mm pour les piles en rivière et culée C9 (appui fixe) ; leur longueur varie entre 15 et 33 m.

Les pieux des piles en rivière ont été forés et bétonnés sous eau (avec un tubage métallique définitif), les batardeaux ont été mis à sec après réalisation de bouchons en béton, réalisés également sous eau, connectés aux pieux et au batardeau. Ces bouchons de béton immergé ont assuré l'encastrement de la fiche des batardeaux (figure 4).

LES PILES

La forme des piles est profilée de façon à améliorer leur hydrodynamisme (largeur de 3,50 m). Toutes les piles sont disposées perpendiculairement à la LGV puisqu'elles sont ainsi orientées

parallèlement au lit mineur de la Saône et à l'axe général de l'écoulement des crues.

Les piles en rivière sont dimensionnées pour reprendre le choc de bateau. La valeur du choc de bateau considéré est de 10 000 kN dans le sens de la rivière et de 2 000 kN transversalement. Les deux piles du viaduc en rivière, ainsi que leurs fondations, ont été faites à l'intérieur de batardeaux en palplanches. Deux estacades provisoires métalliques, partant de chaque rive, ont été montées par des moyens nautiques ou depuis les berges permettant ainsi l'accès des équipes, matériels et engins de chantier à ces batardeaux depuis la terre.

Les autres appuis du viaduc, ainsi que l'intégralité des appuis des estacades ont également été réalisés à l'abri de batardeaux terrestres, compte tenu du caractère bouillant du terrain et de la présence subaffleurante de la nappe.

Les piles du viaduc et des estacades ont été réalisées en une seule phase de bétonnage à l'aide de coffrages métalliques.

LE TABLIER

Le hourdis en béton C35/45 de 40 cm d'épaisseur en partie centrale est connecté aux poutres métalliques par 2 files de goujons de 22 mm. Des pré-dalles non participantes appuyées sur les semelles supérieures des poutres servent de coffrage. Les encorbellements doivent résister au cas accidentel de déraillement du train et aux efforts de la passerelle de visite MOOG. Un hourdis inférieur non participant pour la flexion longitudinale mais permettant un contreventement de la structure et facilitant la visite de l'ouvrage est réalisé en éléments préfabriqués fixés après clavage par des goujons soudés aux semelles inférieures des poutres. La méthode de réalisation du tablier est classique pour un tel ouvrage. ▶

Par ailleurs les ouvrages devaient prendre en compte la présence du champ captant de Poncey-les-Athée qui est situé juste en rive droite de la Saône et qui alimente en eau potable une grande partie de l'agglomération dijonnaise. Ce champ captant est exploité par la Lyonnaise des Eaux.

Les ouvrages de franchissement doivent permettre de limiter l'impact du remous hydraulique, provoqué par la LGV et ses remblais dans la vallée de la Saône en particulier, à 3 cm dans la commune de Poncey-lès-Athée pour la crue centennale et à 1 cm pour la crue décennale (figure 2). Les études menées par HYDRATEC ont permis de définir la répartition des ouvertures hydrauliques : rive droite : 450 + 150 m ; viaduc central franchissant le lit mineur de la Saône : 325 m ; rive gauche : 250 m.

GABARIT DE NAVIGATION SUR LA SAÔNE

La Saône est une rivière navigable de classe I, mais il est prévu un surclas-



3 © ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI



4 © PHOTOTHÈQUE SETEC



5 © PHOTOTHÈQUE SETEC

Elle consiste à assembler la charpente du tablier par tronçon, sur une plateforme de montage située à l'arrière de la culée est dans le prolongement du viaduc. La charpente métallique, avec avant-bec et un arrière bec, est ensuite lancée depuis la plateforme vers ses appuis à l'aide de treuils. La plateforme de montage est inscrite dans le remblai ferroviaire qui a été préalablement chargé et consolidé. À l'issue du lancement (figure 5), deux équipages mobiles ont été montés sur la charpente en vue de réaliser le hourdis. Les parties du hourdis en encorbellement ont été coulées à l'aide des plateaux latéraux amovibles des équipages mobiles.

APPAREILS D'APPUI

La culée Ouest est équipée d'appareils d'appui à pot sphériques unidirectionnels. Les piles sont équipées d'appareil d'appui à pot unidirectionnel. Enfin, la culée C9, point fixe, deux appareils d'appui à pot sphériques multidirectionnels.

LES OUVRAGES DE DÉCHARGE

Les ouvrages de décharge s'inscrivent dans un tracé en plan avec rayon minimum de 6 000 m. Les profils en long présentent des pentes inférieures à 1 %.

L'ouverture hydraulique de l'ouvrage de décharge d'Athée est de 192 m (8 travées de 24 m).

L'ouverture hydraulique de l'ouvrage de décharge de Poncey est de 480 m (20 travées de 24 m).

L'ouverture hydraulique de l'ouvrage de décharge d'Auxonne est de : 288 m (12 travées de 24 m).

Les ouvrages de décharge sont de type en estacades, c'est-à-dire une succes-

sion de tabliers dont la longueur dilatable de chacun est inférieure à 90 m de manière à éviter des appareils de dilatation de la voie (figure 6). Pour des raisons architecturales, le principe est retenu d'une portée identique pour toutes les travées : la structure du tablier est donc systématiquement dimensionnée pour la travée de rive. Chaque tablier est long au maximum de 72 m (3 x 24 m) et il comporte au plus 3 travées, les 2 piles centrales faisant office de point fixe.

LES FONDATIONS

Tous les appuis sont fondés sur pieux de diamètre variant entre 1 000 mm et 1 200 mm et dont les longueurs ont pu dépasser 40 mètres. Les pieux ont été réalisés à l'intérieur d'un tubage métallique provisoire (figure 7).

LES PILES

Les piles points fixes sont munies en tête d'une articulation Freyssinet et d'un clouage du tablier. Ces piles reprennent les efforts horizontaux principalement engendrés par les efforts de freinage

3- Le franchissement de la Saône.

4- Les travaux de fondations en rivière.

5- Lancement.

6- Les ouvrages de décharge.

3- The Saône crossing.

4- Foundation works in the river.

5- Launching.

6- Outlet works.

ou d'accélération ou démarrage combinés à ceux produits par les efforts thermiques.

Les piles points fixes et les piles culées se succèdent de telle manière à reprendre les efforts horizontaux longitudinaux tout en permettant la dilation du tablier.

LE TABLIER

Le type de tablier est classique pour les ouvrages ferroviaires de portée inférieure à 30 m. Il est constitué de 4 poutres en béton armé de hauteur constante et d'un hourdis en béton armé de 25 cm d'épaisseur environ. Le point fixe est réalisé par une articulation Freyssinet avec bande béton et clouage par barres de précontrainte ancrées dans les piles.

La réalisation des tabliers des ouvrages de décharge était la tâche de loin la plus longue et se situait donc sur le chemin critique du planning (960 m de tablier quadri-poutres à réaliser en 40 travées de 24 m).

L'entreprise a opté pour une réalisation des poutres à l'aide de coffrages posés sur platelages généraux en charpente métallique fixés sur les piles des ouvrages.

Cette solution offrait une sécurité nettement plus importante qu'une solution plus classique de coffrage posé sur étais, vis-à-vis des tassements et en cas de crue de la Saône et de présence d'embâcles.



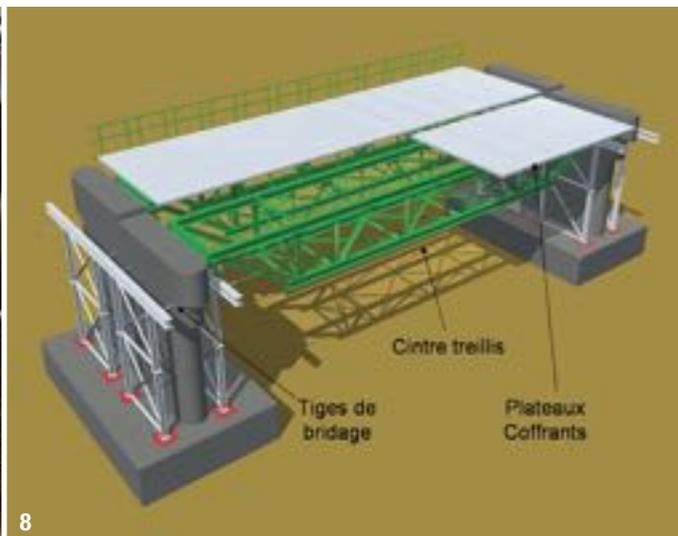
6

© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI



7

© PHOTOTHÈQUE SETEC



8

Comme pour le hourdis du viaduc, des prédalles non collaborantes posées entre poutres ont fait office de coffrage tandis que les parties en encorbellement ont été coulées à l'aide de coffrages classiques fixés sur les parements extérieurs des poutres latérales (figure 8).

LES CONTRAINTES DU SITE

La plus forte contrainte qui a pesé sur l'organisation du chantier est la protection du champ captant.

Plusieurs dispositions ont été prises dès la phase de la conception, afin de limiter les risques de pollution de la nappe :

- Les pieux situés dans le périmètre de protection immédiat étaient prévus d'être réalisés depuis la plate-forme de surface à l'aide de tubes métalliques laissés en place qui empêchent le contact latéral du béton avec la couche de sol de l'horizon aquifère ;

- La plateforme de lancement et les installations de chantier principales sont situées en rive gauche, sur la rive opposée au champ captant ;

- La charpente métallique est peinte avant lancement pour éviter les projections de peinture à l'intérieur du périmètre immédiat du champ captant.

→ Sur la rive droite, l'ensemble des plateformes de travail et pistes de chantier ont été imperméabilisés à l'aplomb du champ captant.

Les eaux recueillies par cette plateforme étanche ont été traitées dans un bassin de décantation étanche muni de systèmes anti-pollution (boudins absorbants) avant évacuation dans le milieu naturel.

→ Enfin, des zones neutralisées ont été aménagées dans le planning des

travaux : il était interdit à l'entreprise de réaliser des travaux de fondations profondes dans le périmètre de protection immédiat pendant les mois d'août, septembre et octobre, car une pollution accidentelle de la nappe, à cette période d'étiage bas, aurait pu mettre en péril l'alimentation en eau de la ville de Dijon.

L'ensemble des travaux situés dans le PPI ont fait l'objet de procédures établies par l'entreprise et présentées à la

7- Batardeaux terrestres (terrain boulant et présence subaffleurante de la nappe).

8- Coffrage du tablier des estacades.

7- Cofferdams on land (caving formation and subcropping presence of the aquifer).

8- Formwork for the slide gate of the breakwaters.

Lyonnaise des Eaux. Une campagne de suivi de la qualité des eaux du champ captant a été lancée dès le démarrage des travaux.

Les prélèvements ont été quotidiens et ont démontré l'absence de pollution liée aux travaux.

LES ACCÈS EN PHASE D'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE

Les ponts-rails sont tous munis d'un garde-corps faisant office de garde ballast d'une hauteur de 1 m au-dessus des pistes aménagées sur les tabliers. Pour la visite des piles situées en rivière et dans l'emprise du champ captant, des ouvertures ont été aménagées dans le hourdis inférieur par lesquelles il est possible d'installer des échelles amovibles.

Ce dispositif ne permet que l'inspection et non la maintenance.

Par ailleurs la conception permet d'installer une passerelle MOOG. Une plateforme de montage de la passerelle MOOG est prévue en rive gauche de la Saône le long de la berge, à l'aplomb de l'ouvrage.

La plateforme englobe une surface de 30 m par 30 m de part et d'autre du tablier. □

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAITRE D'OUVRAGE : RFF

MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupe Setec (Setec TPI, Setec International, Terrasol, Hydratec)

ARCHITECTE : Lavigne & Cheron

GROUPEMENT D'ENTREPRISES

GÉNIE CIVIL : GTM TP Lyon – SNCTP

FONDATIONS (PIEUX) : Bauer

CHARPENTE MÉTALLIQUE : Baudin Chateaufort

TERRASSEMENTS : GTM Terrassements – Roger Martin

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION GÉNIE CIVIL : VCF, Cogeci

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION CHARPENTE MÉTALLIQUE : CTICM

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION GÉOTECHNIQUE : Confluence

ABSTRACT

BRIDGES OVER THE SAÔNE

L. MAZZUCHELLI, RFF - D. PRATS & H. TOURLET, SETEC - J. POULAIN - L. BASTARD-ROSSET, VINCI CONSTRUCTION

The Saône Valley crossing by the high-speed rail line had to face numerous challenges in both the design and execution phases. The article describes how environmental constraints (floods, drainage area, etc.), the structural constraints specific to a high-speed rail line and architectural constraints were taken into account on 3 km of line. □

LAS OBRAS DE CRUCE DEL SAONA

L. MAZZUCHELLI, RFF - D. PRATS & H. TOURLET, SETEC - J. POULAIN - L. BASTARD-ROSSET, VINCI CONSTRUCTION

El cruce del valle del Saona por la LAV debía responder a numerosos retos tanto en la fase de diseño como de realización. El artículo describe cómo, en 3 km de línea, se han integrado exigencias ambientales (inundaciones, campos de pozos, etc.), exigencias estructurales específicas a una LAV y exigencias arquitectónicas. □

LES VIADUCS FERROVIAIRES DU TRONÇON B

AUTEURS : YVES DELEPORTE, CHEF DE PROJET, EGIS JMI - CHRISTOPHE OUTTERYCK, CHEF DE BUREAU D'ÉTUDES, EGIS JMI

LE TRONÇON B DE LA BRANCHE EST DE LA LGV RHIN-RHÔNE, QUI S'ÉTEND SUR 57 km DE VORAY, AU NORD DE BESANÇON, JUSQU'À SAULNOT AU SUD-EST DE BELFORT, COMPORTE SIX VIADUCS FERROVIAIRES. CES OUVRAGES DE 100 À 445 m DE LONGUEUR ET DE 6 À 35 m DE HAUTEUR ASSURENT LE FRANCHISSEMENT DES VALLÉES. DES PRINCIPES DE CONCEPTION SPÉCIFIQUES SONT REPRODUITS SUR LES SIX OUVRAGES.



1
© EGIS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Sur le tronçon B de la Branche Est de la LGV Rhin-Rhône, six viaducs ferroviaires viennent ponctuer la ligne au passage de brèches liées principalement à l'hydrographie de la région (figure 2) :

- Le viaduc sur l'Ognon Moyen,
- Le viaduc de la Buthiers,
- Le viaduc de la Quenoche,
- Le viaduc de la Linotte,
- Le viaduc sur l'Ognon Amont,
- Le viaduc de Corcelles.

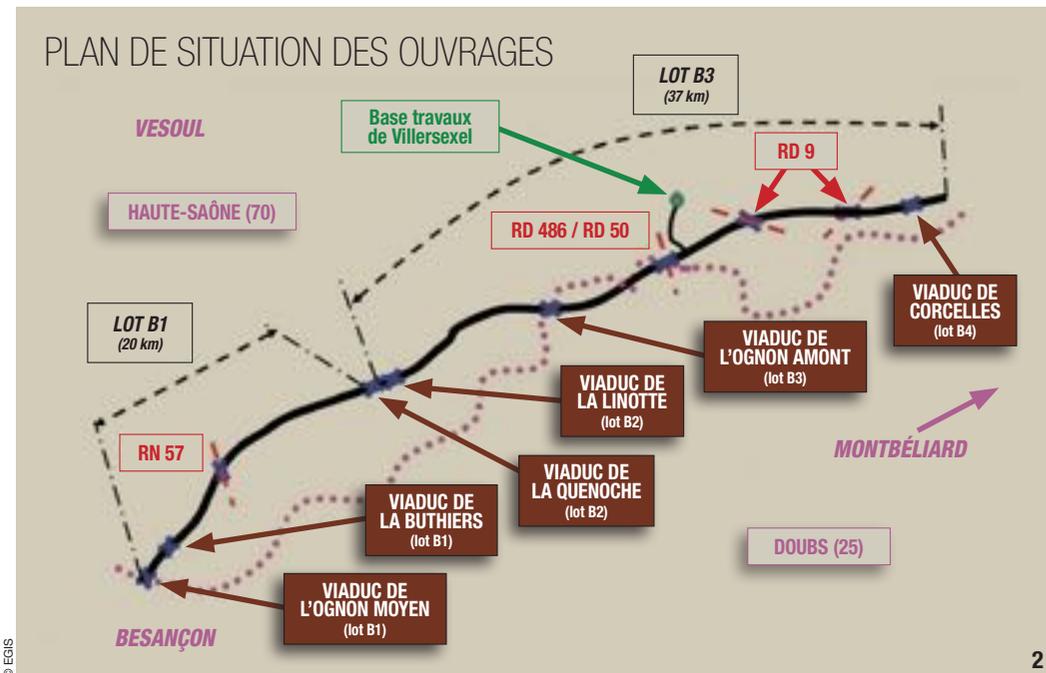
1- Piles du viaduc de la Quenoche.

1- Piers of the Quenoche viaduct.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONCEPTION DES VIADUCS

En sus des principes généraux d'économie et d'insertion dans l'environnement applicables à tout projet d'aménagement, les principes de conception

PLAN DE SITUATION DES OUVRAGES



des viaducs de la LGV Rhin-Rhône répondent à des objectifs plus spécifiques aux infrastructures ferroviaires : la conformité permanente de la voie au tracé géométrique, et la pérennité. Cela conduit à des ouvrages qui, du point de vue structurel :

- Présentent une faible déformabilité, un fonctionnement clair, notamment vis-à-vis des interactions avec la voie, à la fois sous charges statiques et dynamiques ;
 - Sont réalisés avec des matériaux et des méthodes maîtrisés, ce qui contribue à leur durabilité.
- La rusticité et une relative standardisation des conceptions ont été tout particulièrement recherchées. Par ailleurs, l'aspect esthétique est loin d'être accessoire, puisque les ouvrages participent à l'image de la ligne, valorisante pour tous les acteurs et respectueuse des contraintes d'insertion paysagère.

2- Plan de situation des ouvrages.

2- Location drawing of the works.

LES PILES

À l'exception de deux viaducs rasants, les viaducs franchissent des brèches marquées et présentent des piles de hauteurs comprises entre 9 m et 29 m. Ces piles font l'objet d'une conception originale développée par le Cabinet Strates dans le cadre de l'image de la ligne. Il s'agit d'un portique transversal, constitué de deux montants de section rectangulaire variable transversalement et longitudinalement en fonction de la hauteur, qui s'écartent vers le bas

jusqu'à la semelle, et sont reliés en tête par un chevêtre supérieur d'appui intégrant une fosse de visite. Les levées de bétonnage sont rythmées par des engravures bien marquées (figure 1).

LES CULÉES CREUSES

L'atterrissage des ouvrages se fait soit sur des versants boisés, soit dans des zones à forte sensibilité écologique. Dans le cadre de l'intégration paysagère et environnementale, on a cherché à minimiser l'emprise des remblais d'accès devant les culées. Par ailleurs, les contraintes d'armement ont conduit à limiter la longueur des tabliers à 450 m de manière à ne mettre en place, au plus, qu'un seul appareil de dilatation sur la voie. Dans ces conditions, on a retenu l'option de culées creuses assurant le prolongement des tabliers, et pouvant également leur servir de point fixe.

Ces structures associent :

- Une partie portant le tablier ;
- Une partie porteuse de la voie ; soutenant les blocs techniques et les remblais périphériques.

La section transversale des culées creuses forme un cadre rigide, dont la hauteur s'adapte au profil en long de la plate-forme ferroviaire et au niveau d'assise du radier. L'extrémité arrière comporte un voile de fermeture assurant un parfait maintien des blocs techniques.

LES TABLIERS BIPOUTRES MIXTES

La gamme des portées principales des six ouvrages du tronçon B s'étend de 35 m à 55 m. Cela a permis de standardiser la conception des tabliers, en retenant une structure mixte unique, à deux poutres métalliques et hourdis en béton.

De plus, le profil en travers fonctionnel est identique pour tous les ouvrages, qui sont conçus pour une vitesse d'exploitation de 350 km/h. L'entraxe des voies est de 4,50 m. Les gabarits latéraux de 3,90 m dans lesquels s'inscrivent des cheminements piétons pour la maintenance conduisent à une largeur utile de 12,30 m.

Les rives de tabliers sont équipées d'écrans pare-ballast ou d'écrans acoustiques.

Le hourdis supérieur collaborant en béton armé présente des encorbellements latéraux de 3,25 m de portée, leur épaisseur variant de 25 cm en rive à 45 cm au droit des poutres principales. La dalle centrale est de section constante (figures 4 et 5).

Les poutres principales en acier sont des profilés reconstitués soudés en I. Elles sont écartées de 6,30 m. L'entretoisement transversal des poutres est assuré par des diaphragmes.

À l'expérience des ouvrages de même type réalisés sur la LGV Méditerranée et la LGV Est, on a opté pour un contreventement inférieur par dalles préfabriquées connectées aux semelles inférieures des PRS.

Cette disposition est favorable vis-à-vis du comportement en torsion, et des effets dynamiques de la circulation ferroviaire.

LE VIADUC SUR L'OGNON MOYEN POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

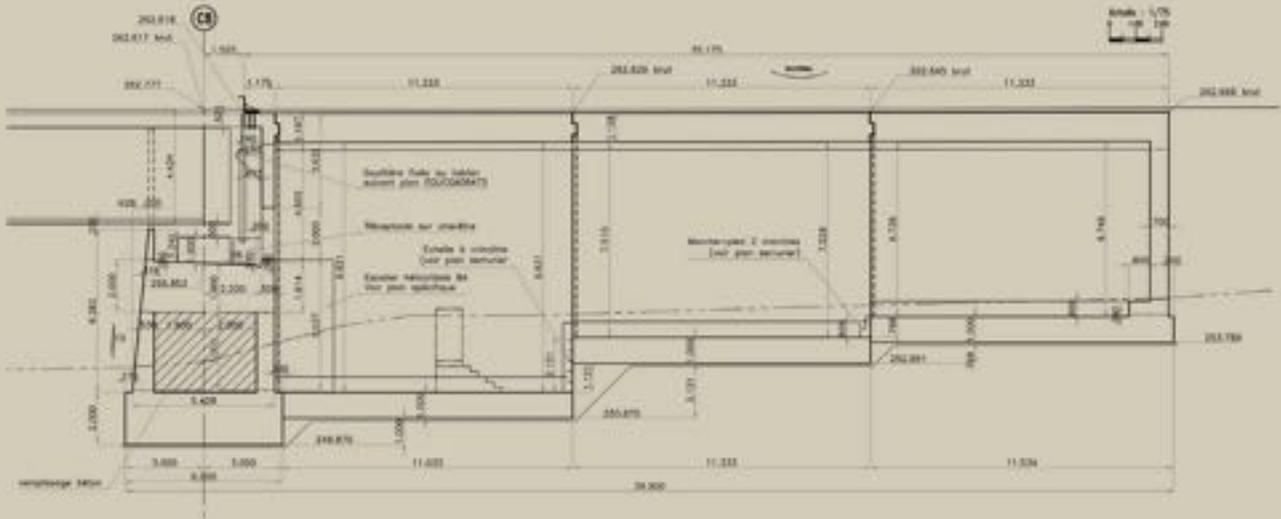
À l'extrémité occidentale du tronçon B, la LGV franchit la rivière l'Ognon, et son lit majeur en rive droite (figures 6 et 7). ▷

PRINCIPALES QUANTITÉS

Viaducs	L'Ognon Moyen	La Buthiers	L'Ognon Amont	La Quenoche	La Linotte	Corcelles
Longueur totale (m)	116,40	156,50	183,00	484,70	367,45	522,70
Longueur du tablier (m)	114,40	103,00	180,88	422,85	364,85	449,15
Travées (m)	26-35-28-22-50	30-40-30	20,25-30-38,75-38,75-30-20,25	47-55-55-55-55-55-55-43	32-40-50-50-50-50-50-40	37-48-48-48-51-55-55-55-48
Largeur (m)	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80
Béton du tablier (m ³)	750	650	1 100	2 600	2 400	2 900
Béton des appuis (m ³)	3 450	6 750	4 350	9 300	8 500	14 600
Acier de charpente (T)	410	335	690	1 810	1 370	1 940

VIADUC DE LA QUENOCHÉ

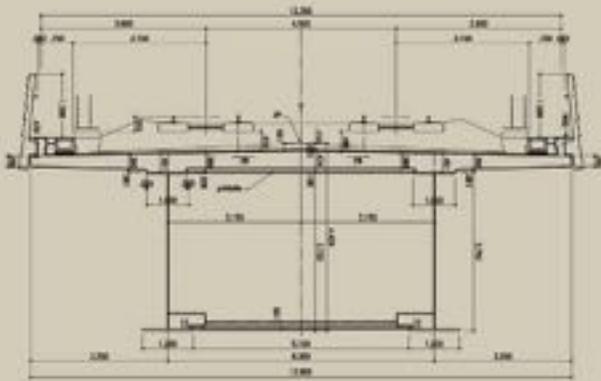
Coupe longitudinale de la culée C8



3

© COGEC

Coupe transversale avec extrados de tablier en toit



4

© COGEC



5

© EGIS

L'ouvrage présente une longueur de 111,5 m répartie en 4 travées de 26 m - 35 m - 28 m - 22,5 m, avec une culée Ouest en limite de déblai, deux piles en lit mineur de la rivière, la troisième pile sur la banquette de décharge, et la culée Est en tête du remblai d'accès.

Pour respecter la contrainte de longueur dilatable maximale de 90 m liée au schéma d'armement, le point fixe du tablier est disposé sur la pile P3 la plus à l'Est.

Les spécificités du tablier portent :

→ Sur la hauteur des poutres principales, égale à 2,70 m, soit un élanement de 1/13 ;

→ Sur les diaphragmes, biais à 85 grades par rapport à l'axe longitudinal de l'ouvrage, comme les lignes d'appui. Pour la culée Ouest, la proximité du substratum calcaire a permis une fondation superficielle. L'élévation comporte un mur de front et des murs en retour latéraux assurant l'encastrement du sommier d'appui du tablier.

Quant à la culée Est, elle se limite à un chevêtre très rigide accueillant le tablier et couvrant les deux lignes de 3 pieux de fondation Ø 1,20 m qui traversent le remblai d'accès jusqu'au substratum.

Les piles présentent des hauteurs comprises entre 11 m et 13 m. Elles adoptent la conception en portique destinée aux plus grands ouvrages du tronçon. Les semelles des piles en rivière sont appuyées sur un massif en gros béton à l'intérieur d'un batardeau en palplanches. Des avant-becs et arrière-becs prolongent les montants dans leur partie immergée.

Du fait des conditions de sol médiocres en surface, et de l'encastrement à assurer vis à vis du point fixe du tablier, la pile P3 est fondée sur deux lignes de 4 pieux Ø 1,50 m.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

À l'ouverture des fouilles, des signes de fracturation du substratum sont apparus sous la culée Ouest. Des inclusions

3- Coupe longitudinale de la culée C8 du viaduc de la Quenoche.

4- Coupe transversale du viaduc de la Quenoche avec extrados de tablier en toit.

5- Charpente du viaduc de la Quenoche en cours d'assemblage sur site.

3- Longitudinal section of Quenoche viaduct abutment C8.

4- Cross section of the viaduct with roofed upper surface.

5- Quenoche viaduct structure undergoing assembly on site.

rigides verticales constituées de tubes métalliques scellés dans des forages ont été réalisées sous l'assise de l'ouvrage, pour se prémunir de tout risque d'instabilité et assurer des conditions de fondation homogènes.

Sous la pile P1, des irrégularités du toit rocheux n'ont pas permis de ficher toutes les palplanches du batardeau au même niveau.

Le bouchon d'appui de la semelle a dû être aminci. 48 micropieux Ø 200 mm ont été mis en œuvre pour transférer les charges au sol.

LE VIADUC DE LA BUTHIERS

POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

À moins de 3 km au Nord-Est du viaduc sur l'Ognon Moyen, la LGV franchit la rivière de la Buthiers et son lit majeur en rive gauche (figures 8 et 9).

Le parti retenu est celui d'un ouvrage à 3 travées de 30 m - 40 m - 30 m, soit 100 m de longueur totale, afin de satis-



6

© EIFFAGE TP



7

© EIFFAGE TP

6- Vue du viaduc de l'Ognon moyen depuis la rive droite en aval.

7- Viaduc de l'Ognon moyen - Tablier en fin de lancement.

8- Vue du viaduc de la Buthiers depuis la rive gauche en amont.

9- Viaduc de la Buthiers - Vue aérienne vers le Sud-Est avant achèvement du tablier et des culées creuses.

6- View of Ognon Moyen viaduct from the downstream right bank.

7- Ognon Moyen viaduct - Deck at end of launching.

8- View of La Buthiers viaduct from the upstream left bank.

9- La Buthiers viaduct - Aerial view to the South-East before completion of the deck and hollow abutments.

faire l'ouverture hydraulique requise. Cela permet aussi de ne disposer que deux piles intermédiaires dans la Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique présente dans la vallée.

Le tablier est fixé longitudinalement sur la seule pile P2, de manière à obtenir le schéma fonctionnel de la voie le plus clair possible vis-à-vis de l'interaction voie-ouvrage.

Les culées sont des culées creuses, qui permettent de s'affranchir de perrés, et de limiter l'emprise des remblais d'accès sur la ZNIEFF. Elles sont fondées soit directement au substratum pour

C0, soit sur un matelas de substitution sur C3. Les piles ne sont hautes que de 7 m, ce qui restreint les possibilités architecturales. Leur morphologie découle d'une épuration du modèle des piles des grands ouvrages, en n'en conservant que l'enveloppe extérieure. On aboutit à un voile pyramidal de section rectangulaire variable transversalement et longitudinalement, qui s'évase vers le bas. Des nervures horizontales viennent animer les grandes surfaces de parements.

Les semelles des piles s'appuient sur un massif de béton coulé à l'intérieur d'une enceinte en palplanches.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

Les piles et la culée C0, dont le niveau d'assise se situe sous la nappe et en zone inondable, ont été réalisées à l'abri de batardeaux étanchés par un bouchon de béton.

La charpente du tablier a été posée à la grue par éléments, directement sur les appuis. Les diaphragmes transversaux ont été soudés au fur et à mesure de la mise en place des poutres principales.

LE VIADUC SUR L'OGNON AMONT

POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

Au niveau de Thieffrans, vers le milieu du tronçon B, la LGV traverse de nouveau une zone de plaine (figure 10). Le parti retenu est celui d'un ouvrage à 6 travées de 20,25 m - 30 m - 38,75 m - 38,75 m - 30 m - 20,25 m, soit 178 m de longueur totale.

Pour limiter les perturbations de l'Ognon, seule la pile P4 est dans le lit mineur, alors que les piles P3 et P5 l'encadrent.

Le point fixe du tablier est placé sur la pile centrale P3, ce qui permet de s'affranchir d'appareils de dilatation des rails aux extrémités de l'ouvrage.

Du fait du profil rasant de la LGV, la hauteur libre à dégager sous l'ouvrage a imposé un tablier relativement mince, avec une hauteur de poutres de 2,25 m.

La courbure prononcée du tracé a conduit à déverser l'extrados du tablier suivant une pente unique de 4%, de manière à minimiser l'épaisseur de ballast sous les traverses.

Du fait de leur hauteur modeste, les culées ne sont constituées que d'un sommier faisant office de chevêtre d'appui et de mur de front.

© EIFFAGE TP



8



9

© EIFFAGE TP



10 © EGIS



11 © EGIS



12 © EGIS

Leur semelle de fondation est appuyée sur le substratum calcaire par l'intermédiaire d'un massif de béton coulé à l'intérieur d'une enceinte en palplanches. Plus rasant encore que le viaduc de la Buthiers, le viaduc de l'Ognon Amont reprend les piles massives. Leurs semelles reposent sur un massif de béton coulé à l'intérieur d'une enceinte en palplanches.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

Le niveau du substratum s'est avéré moins profond qu'attendu. De ce fait, l'épaisseur des bouchons de béton immergé au fond des batardeaux, et celle des semelles des piles P4 et P5 ont dû être sensiblement réduites. Une couche drainante interposée sous les semelles a permis le pompage continu nécessaire à l'équilibre des ouvrages pendant la construction.

La charpente du tablier a été assemblée puis lancée avec un avant-bec de 12 m par treuillage depuis le remblai Ouest, en deux phases. Cette opération a été réalisée avec les dalles du contreventement inférieur déjà posées, sauf sur 40 m côté avant-bec.

LE VIADUC DE LA QUENOCHÉ POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

La LGV franchit un vallon suivi par le ruisseau de la Quenoche, le canal du Château et la RD 82 (figure 11).

Le parti retenu est celui d'un ouvrage à 8 travées de 47 m - 6 x 55 m - 43 m, soit 420 m de longueur totale. Cette longueur permet de ne disposer qu'un seul appareil de dilatation, à l'extrémité Est. Le point fixe est placé sur la culée Ouest, plus apte que la pile de rive voisine à supporter sans déformation excessive les efforts de freinage et de démarrage.

Les culées sont des culées creuses, qui permettent de limiter la longueur de l'ouvrage à la fois pour des raisons d'équipement ferroviaire, et pour des raisons d'intégration paysagère. Elles sont fondées soit sur pieux, au niveau du point fixe de la culée C0, soit sur un matelas de substitution, sur C8.

La hauteur des piles varie de 11 m à 19 m environ ce qui permet de respecter le parti architectural prévu pour les viaducs de la ligne. Leurs semelles sont appuyées sur un massif de béton

10- Viaduc de l'Ognon amont - Vue avant réalisation du hourdis et des superstructures depuis la rive droite en aval.

11- Viaduc de la Quenoche - Vue depuis la culée Ouest.

12- Viaduc de la Linotte - Vue depuis la culée Ouest.

10- Ognon Amont viaduct - View before execution of the top slab and superstructure from the downstream right bank.

11- La Quenoche viaduct - View from the western abutment.

12- La Linotte viaduct - View from the western abutment.

coulé à l'intérieur d'une enceinte en palplanches.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

Les piles dont le niveau d'assise se situe sous la nappe et en zone inondable ont été réalisées à l'abri de batardeaux en palplanches, étanchés par un bouchon de béton.

La charpente du tablier a été mise en place par lançage.

LE VIADUC DE LA LINOTTE POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

La LGV franchit un vallon suivi par le ruisseau de la Linotte et la RD 25 (figure 12).

Le parti retenu est celui d'un ouvrage à 8 travées de 32 m - 40 m - 5 x 50 m - 40 m, soit 362 m de longueur totale. Cette longueur permet de ne disposer qu'un seul appareil de dilatation à l'extrémité Est. Le point fixe est placé sur la culée Ouest.

Les culées sont des culées classiques remblayées. Elles sont fondées sur pieux, au niveau du point fixe de la

culée C0, ou directement au substratum, pour C8.

Les piles, dont la hauteur varie de 16 m à 30 m, respectent le parti architectural prévu pour les viaducs de la ligne. Leurs semelles sont appuyées sur un massif de béton coulé à l'intérieur d'une enceinte en palplanches.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

Au fond du vallon, les piles dont le niveau d'assise se situe sous la nappe et en zone inondable ont été réalisées à l'abri de batardeaux en palplanches, étanchés par un bouchon de béton. La charpente du tablier a été mise en place par lançage.

LE VIADUC DE CORCELLES

POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

La LGV franchit le vallon creusé par le ruisseau de Corcelles (figure 13).

Le parti retenu est celui d'un ouvrage à 9 travées de 37 m - 3 x 48 m - 51 m - 3 x 55 m - 48 m, soit 445 m de longueur totale. Cette longueur permet de ne disposer sur les voies qu'un seul appareil de dilatation, à l'extrémité Ouest. Le point fixe est placé sur la culée Est, plus apte que la pile de rive voisine à supporter sans déformation excessive les efforts de freinage et de démarrage.

Les culées sont des culées creuses. Elles permettent de limiter la longueur de l'ouvrage, pour des raisons d'équipement ferroviaire et d'intégration paysagère.

La hauteur des piles varie de 11 m à 19 m environ, ce qui permet de respecter le parti architectural prévu pour les viaducs de la ligne.

Tous les appuis sont fondés sur pieux.



13

© EGIS

13- Viaduc de Corcelles - Lancement de la charpente du tablier.

13- Corcelles viaduct - Launching of the deck structure.

POINTS PARTICULIERS DE LA RÉALISATION

La charpente du tablier a été mise en place par lançage.

Cet ouvrage est le seul viaduc du tronçon B qui soit situé en zone sismique Ib. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : R.F.F.

ASSISTANCE TECHNIQUE À MAITRISE D'OUVRAGE : Inexia

MAÎTRISE D'ŒUVRE GÉNIE CIVIL : Egis Rail - Egis JMI

GROUPEMENTS D'ENTREPRISES LOT B1 : Eiffage TP - Fougere Ballot Terrassements - SGTN - Matière - Lingenheld

BUREAUX D'ÉTUDES DES VIADUCS DU LOT B1 : Arcadis, ARTES, Geonumeric, Matière

GROUPEMENTS D'ENTREPRISES LOT B3 : GTM Terrassements - GTM Génie Civil et Services - Eiffage Construction Métallique - Weiler - Eurovia - Menard Sol Traitement - Sacer

BUREAUX D'ÉTUDES DES VIADUCS DU LOT B3 : Cogeci, CCS, Eiffage Construction Métallique

GROUPEMENTS D'ENTREPRISES LOTS B2-B4 : GTM Terrassements - GTM Génie Civil et Services - Eiffage Construction Métallique - Weiler - Eurovia - Menard Sol Traitement - Sacer

BUREAUX D'ÉTUDES DES VIADUCS DES LOTS B2-B4 : BEA - Cogeci, CCS, Eiffage Construction Métallique

ABSTRACT

SECTION B RAIL VIADUCTS

YVES DELEPORTE, EGIS JMI - CHRISTOPHE OUTTERYCK, EGIS JMI

Section B of the eastern branch of the Rhine-Rhone high-speed train line, which extends over 57 km from Voray, north of Besançon, to Saulnot southeast of Belfort, contains six rail viaducts. These structures, from 100 to 445 m long and 6 to 35 m high, provide a crossing over gaps due to the region's drainage network. To meet the objectives of cost savings and structural, environmental and aesthetic quality, specific deck, pier and abutment design techniques were developed and replicated on the six viaducts. □

LOS VIADUCTOS FERROVIARIOS DEL TRAMO B

YVES DELEPORTE, EGIS JMI - CHRISTOPHE OUTTERYCK, EGIS JMI

El tramo B del ramal este de la LAV Rin-Ródano, con una longitud de 57 km desde Voray, al norte de Besançon, hasta Saulnot en el sudeste de Belfort, incluye seis viaductos ferroviarios. Estas estructuras de 100 a 445 m de longitud y de 6 a 35 m de altura cruzan brechas debidas a la red hidrográfica de la región. Para responder a los objetivos de ahorro y de calidad estructural, ambiental y estética, y a principios específicos del diseño en materia de tableros, se han desarrollado y reproducido pilares y estribos en los seis viaductos. □

LGV RHIN-RHÔNE BRANCHE EST TRONÇON C LE VIADUC DE LA LIZAINE

AUTEURS : C. SANDRÉ, EIFFAGE TP - Z. HAJAR, EIFFAGE TP - I. BROCHARD, SETEC - J.J. VIRISSEL, SETEC

LE VIADUC DE LA LIZAINE (LGV RHIN-RHÔNE BRANCHE EST) EST UN OUVRAGE À TABLIER BICAISSON MIXTE DE 717 m DE LONGUEUR, DONT LES PILES ATTEIGNENT À 40 m DE HAUTEUR. L'OUVRAGE EST CONÇU POUR RÉSISTER AUX EFFORTS LIÉS À LA CIRCULATION DES TRAINS, DONT EN PARTICULIER UN EFFORT DE FREINAGE – DÉMARRAGE POUVANT ATTEINDRE 7 000 kN, AINSI QU'À DES SÉISMES D'AMPLITUDE 2 m/s². CE DERNIER POINT A IMPOSÉ EN PARTICULIER DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DE FERRAILLAGE TRÈS CONTRAIGNANTES. LA PRÉSENCE DANS LA ZONE D'UN ALÉA KARSTIQUE FORT A NÉCESSITÉ LA MISE EN PLACE DE PROCÉDURES SYSTÉMATIQUES DE RECHERCHE ET DE TRAITEMENT DES KARSTS.



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TP

PRÉAMBULE

Le viaduc de la Lizaine fait partie du lot C4 de la LGV Rhin-Rhône Branche Est, qui comprend un autre viaduc : le viaduc des Epenottes. Ce dernier présente la particularité d'être équipé de ressorts amortisseurs précontraints pour la reprise des efforts sismiques.

Ces deux viaducs, et en particulier les ressorts amortisseurs précontraints du viaduc des Epenottes, ont fait l'objet d'un précédent article de la revue Travaux : *LGV Rhin-Rhône. Lot C4. Viaducs de la Lizaine et des Epenottes* (J.J. Virissel, P. Charlon, A. d'Avout, C. Sandré, Z. Hajar) – Travaux n°860 – Avril 2009.

1- Le viaduc de la Lizaine.

1- La Lizaine viaduct.

PRÉSENTATION DU PROJET SITUATION

La LGV Rhin-Rhône Branche Est franchit la vallée de la Lizaine sur la commune d'Héricourt - Bussurel (Haute Saône). Bien que le lit de la Lizaine ne présente qu'une largeur de 12 m environ, la vallée est large et traversée

PLAN DE SITUATION



© DR

2

par de nombreuses infrastructures, soit d'Ouest en Est (figure 2) :

- La RD 204,
- La RD 438, voirie à forte trafic reliant Héricourt à l'agglomération de Sochaux - Montbéliard,
- L'ancienne RD 438,
- La Lizaine,
- La RD 316,
- Les voies ferrées de la ligne Belfort - Besançon, ligne très fréquentée aussi bien de jour que de nuit (trafic fret important).

L'importance tant technique qu'architecturale de ces ouvrages a justifié l'établissement d'une Étude Préliminaire Ouvrage d'Art (EPOA), destinée à recenser l'ensemble des contraintes, à proposer des solutions techniques

d'ouvrages respectant ces contraintes, à choisir les solutions pouvant faire l'objet d'une étude architecturale, à estimer le coût des solutions jugées intéressantes et à conclure sur la ou les solutions à développer en phase Projet.

2- Plan de situation.

3- Coupe du tablier retenu : bicaisson mixte.

2- Location drawing.

3- Cross section of the selected deck: composite twin-box-girder.

L'établissement de cet EPOA s'est inscrit dans une démarche permettant à RFF de choisir la solution d'ouvrage en y associant les collectivités locales.

LES EXIGENCES

Sismicité

Le viaduc de classe C au sens des règles AFPS 92 est situé en zone sismique Ib, soit une accélération nominale de 2 m/s². Les principales contraintes liées à ce zonage sont les suivantes :

- Surdimensionnement de certaines parties d'ouvrages à cause du séisme par rapport au fonctionnement en service, en particulier pour le blocage du tablier sur appuis transversalement et, pour certaines piles, longitudinalement.

→ Dispositions constructives de ferrailage conduisant à une augmentation importante du ratio d'armatures (majoration des longueurs de recouvrement, mise en place d'armatures transversales supplémentaires).

Géologie et géotechnique

Le site du viaduc est situé sur les plateaux pré-jurassiens. Les formations identifiées sont les suivantes, avec une hétérogénéité importante sur la longueur du viaduc :

- Alluvions,
- Calcaires du Rauracien, de l'Argovien et du Séquanien,
- Marno-calcaires de l'Argovien.

La principale contrainte est liée aux calcaires du Rauracien, qui sont très altérés et fracturés, avec un aléa karstique fort.

La LGV dans le paysage

Le franchissement de la Lizaine se présente comme un vallon dissymétrique aux pentes plus marquées côté Est que côté Ouest. Les versants sont boisés et l'on trouve quelques coteaux épars disséminés çà et là. L'ensemble est d'une grande harmonie et d'une grande qualité paysagère.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES OUVRAGES

LA CONCEPTION DU VIADUC

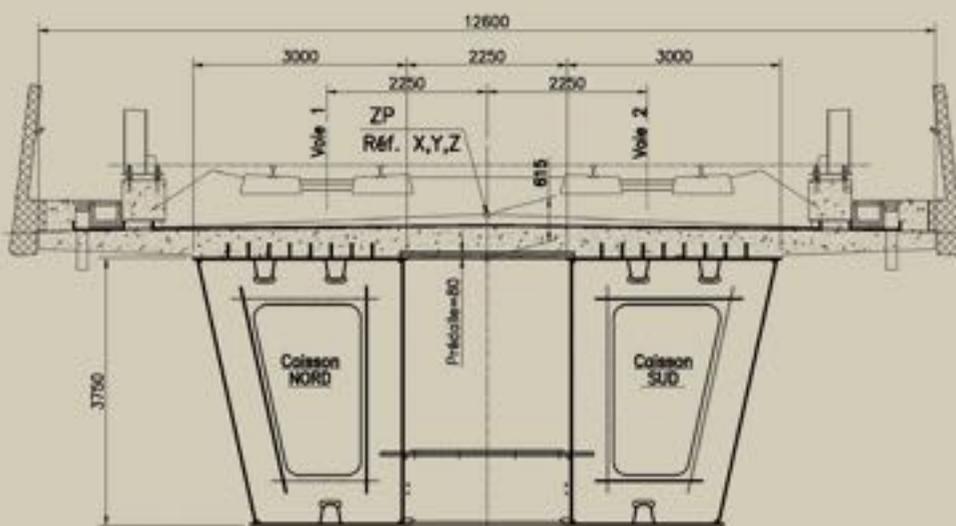
Tracé en plan et profil en long

Le viaduc s'inscrit dans un alignement droit. Le profil en long est variable sur le viaduc : cercle de rayon 21 000 m en partie Ouest, pente de 2,5 % en partie Est.

Largeur utile

La largeur utile du tablier est donnée par un entraxe de voies de 4,50 m et des gabarits latéraux de 3,95 m, soit une largeur utile de 12,40 m.

COUPE DU TABLIER RETENU : BICAISSON MIXTE

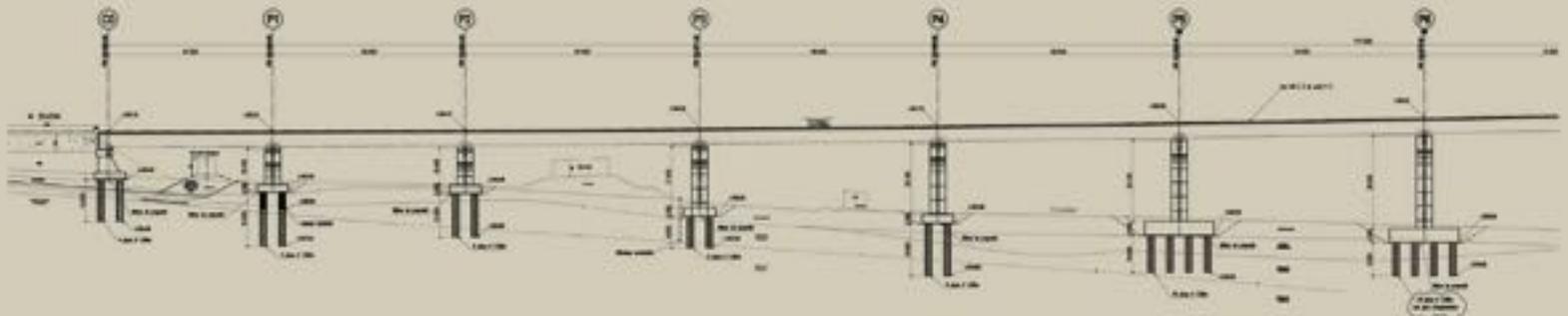


© DR

3

SOLUTION RETENUE : 11 TRAVÉES

47 m – 55 m – 67 m – 68 m – 69 m – 70 m – 72 m – 74 m – 76 m – 74 m – 45 m = 717 m



4a

Le gabarit latéral de 3,95 m inclut la piste de 0,75 m de large sur chaque voie et cale le nu intérieur de l'écran acoustique.

Choix des travures et de la structure

La hauteur du viaduc est dissymétrique : de 10 m environ en partie Ouest, elle atteint 40 m en partie Est. Cette dissymétrie se devait d'être respectée lors de la conception de l'ouvrage, en prévoyant des portées plus importantes en partie Est qu'en partie Ouest.

Ces portées plus importantes étaient en outre imposées par le franchissement des voies ferrées de la ligne Belfort - Besançon et la pente importante du versant Est.

Elle a aussi conduit à éliminer assez rapidement les solutions plus traditionnelles de type bipoutre de hauteur constante, dont la portée maximale est limitée à 55 m environ.

Deux solutions ont donc été étudiées lors de l'APD :

→ **Solution 1** : tablier en béton précontraint, mis en place par poussage en

4- Solution retenue :
11 travées de
47 m – 55 m –
67 m – 68 m –
69 m – 70 m –
72 m – 74 m –
76 m – 74 m –
45 m = 717 m.

5- Appareil d'appui sphérique Maurer.

6- Piles du viaduc de la Lizaine.

4- Solution adopted:
11 spans of lengths
47 m – 55 m –
67 m – 68 m –
69 m – 70 m –
72 m – 74 m –
76 m – 74 m –
45 m = 717 m.

5- Maurer spherical support device.

6- Piers of La Lizaine viaduct.



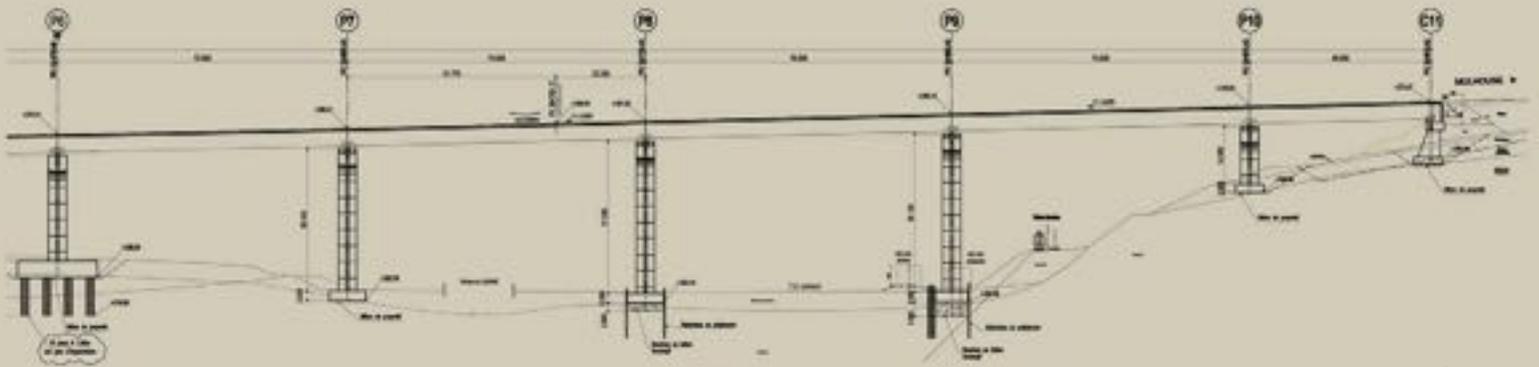
5

© DR



6

© ANNE-CLAUDE BARBER POUR SETEC TPI



4b
© DR

partie Ouest et construit par encorbellements successifs en partie Est, portée maximale 100 m.

→ **Solution 2** : tablier en ossature mixte acier béton de type bi-caisson mis en place par lançage, portée maximale 76 m.

La solution 2 a été très rapidement préférée (figures 3 & 4). En effet :

→ Un tablier en ossature mixte est plus léger qu'un tablier en béton précontraint, limitant ainsi les efforts sismiques à reprendre par les appuis et les fondations ;

→ La préfabrication en usine de la charpente métallique du tablier est

favorable pour la qualité de la réalisation et permet de limiter la durée des travaux ;

→ Le contexte économique actuel est plus favorable aux tabliers mixtes qu'aux tabliers en béton précontraint.

Choix du point fixe

La longueur totale du viaduc étant supérieure à 450 m, le ou les points fixes doivent être placés près du centre du viaduc afin de ne pas avoir de travée inerte. Deux appareils de dilatation de la voie sont alors disposés sur les blocs techniques des culées C0 et C11.

Afin de respecter le critère très strict de déplacement horizontal du tablier sous

freinage - démarrage du train (30 mm maximum sous un effort de 7 000 kN), il a été décidé de retenir deux piles points fixes (P5 et P6) de hauteur (et donc de raideur) proche.

Dispositif parasismique

Le dispositif parasismique du viaduc de la Lizaine est basé sur le transfert des efforts du tablier au chevet des piles et culées :

→ Sur chacun des deux points fixes P5 et P6 pour les efforts sismiques longitudinaux ;

→ Sur l'ensemble des piles et culées pour les efforts sismiques transversaux. Le Marché prévoyait la mise en place

de butées métalliques scellées dans les chevêtres pour reprendre ces efforts. Afin de simplifier la descente du tablier sur appui, le Groupement a proposé une variante remplaçant les butées par des appareils d'appui sphériques Maurer (figure 5), pouvant reprendre des efforts horizontaux atteignant 14 000 kN pour la pile la plus sollicitée (P5).

Les calculs sismiques du viaduc, aussi bien en phase Projet que lors des études d'exécution, ont été menés avec une analyse spectrale multimodale à l'aide d'une modélisation aux éléments finis. ▶

7- Déblais de substitution du bloc technique de la culée C0.

8- Réalisation du massif en gros béton sous la semelle de la pile P10.

9- Batardeaux de la pile P9.

10- Ferrailage de la semelle de la pile P5.

7- Excavated materials for the technical block of abutment C0.

8- Execution of the mass concrete foundation block under the footing of pier P10.

9- Cofferdams of pier P9.

10- Reinforcement of the footing of pier P5.



7



8



9



10

© DR



11



12



13

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR : 717 m

TERRASSEMENTS

SUBSTITUTION : 68 000 m³

BLOCS TECHNIQUES : 45 000 m³

PIEUX

FORAGE : 550 ml

BÉTON : 1 399 m³

ACIERS PASSIFS : 203 t

APPUIS

BÉTON : 9 995 m³

ACIERS : 1 655 t

TABLIER

BÉTON : 3 707 m³

ACIERS : 783 t

CHARPENTE

ACIERS : 4 690 t

DURÉE DES TRAVAUX :

31 mois (incluant le viaduc des Epenottes, de 450 m de longueur), soit 3 mois de moins que la durée initialement prévue.

Sous séisme transversal et étant donnée l'irrégularité de l'ouvrage liée à la hauteur variable des piles, les calculs ont été menés avec le spectre de réponse élastique et prise en compte du comportement non linéaire des matériaux lié à la fissuration des piles, qui diminue leur raideur.

Sous séisme longitudinale, un coefficient de comportement q a été considéré (fixé à 2,30 après itération), permettant d'écarter les sollicitations. L'utilisation d'un tel coefficient est néanmoins très contraignante pour le ferrailage des piles, conduisant à doubler les longueurs de recouvrement

des aciers longitudinaux et à majorer les aciers transversaux sur toute la longueur de la zone critique de création d'une rotule plastique (9 m dans le cas du viaduc de la Lizaine).

Blocs techniques

Les blocs techniques des deux culées sont fondés sur le substratum marno-calcaire après purge des couches alluvionnaires afin de supprimer tout risque de tassement.

Fondations

Tous les appuis sont fondés dans le substratum marno-calcaire sain :

→ Sur pieux Ø 1 800 pour les appuis C0 à P6 (4 à 6 pieux par appui),

11- Ferrailage de la pile P6.

12- Coffrage de la deuxième levée de la pile P6.

13- Coffrage de la voûte de la pile P7.

11- Reinforcement of pier P6.

12- Formwork for the second concrete lift for pier P6.

13- Formwork for the cap of pier P7.

→ Sur semelles superficielles pour les appuis P7 à C11, le substratum étant à faible profondeur.

Piles

Les piles sont composées d'un double voile en béton C35/45 relié en tête par un chevêtre d'appui et un arc en plein cintre (figure 6).

Ce chevêtre a un léger fruit transversal. Un joint creux vertical vient recouper l'élévation de la pile afin d'animer la surface et jouer avec l'ombre et la lumière. Des joints creux horizontaux sont prévus tous les 4 m, correspondant à la reprise de bétonnage entre deux levées.



14



15

Des baignoires sont disposées en tête de piles pour la visite des appareils d'appui.

Tablier métallique

Les aciers de l'ossature métallique principale sont de nuance S355 K2, N ou NL suivant l'épaisseur.

La charpente est protégée par un système anticorrosion de type C3ANV RAL 3001 (rouge sécurité). Cette couleur a été choisie car elle est complémentaire du vert de la végétation.

Une passerelle de visite métallique est disposée entre les deux caissons.

Hourdis

Le hourdis en béton C35/45 de 40 cm d'épaisseur en partie centrale est connecté aux poutres métalliques par 8 files de goujons.

Des prédalles non participantes appuyées sur les semelles supérieures des caissons servent de coffrage de la partie centrale.

14- Lançage du tablier de nuit.

15- Équipage mobile.

16- Vue d'ensemble avec écrans pare ballast.

14- Deck launching at night.

15- Mobile rig.

16- General view with ballast guards.

Superstructures

Les rives du tablier sont équipées d'écrans acoustiques en béton de 2,39 m de hauteur (y compris l'épaisseur du hourdis), destinés à pro-

tégé les riverains des nuisances liées au passage des trains.

RÉALISATION DES OUVRAGES

RÉALISATION DES APPUIS

Déblais de substitution des blocs techniques

La réalisation du déblai de substitution du bloc technique de la culée C11 n'a pas posé de problème particulier. Pour la culée C0, étant donné le risque karstique fort, une campagne de reconnaissance par microgravimétrie du fond de substitution a été réalisée, avec confirmation par sondages destructifs. Cette campagne a permis de révéler la présence du lit d'un ancien affluent de la Lizaine (figure 7).

Fondations

Préalablement à la réalisation des pieux et des semelles et afin de lever tout risque karstique, une campagne

de sondages destructifs a été réalisée au droit de chaque pieu et sous chaque semelle. L'analyse des résultats de la campagne a permis de définir le risque karstique sous chaque appui et, pour les appuis avec risque fort, de mettre en œuvre une solution de traitement des vides consistant à injecter gravitairement du coulis dans la zone d'influence de la fondation selon un maillage très rapproché. Afin de maîtriser les volumes injectés et de ne pas risquer une pollution de la Lizaine par le coulis injecté, un barrage en coulis silicaté a été préalablement réalisé autour de la zone d'influence de certains appuis.

Les terrassements de la semelle de la pile P10 ont mis en évidence une faille dont l'existence était soupçonnée, nécessitant une substitution importante du terrain par un massif en gros béton (figure 8). ▷



16



17



18

17- Pose de la chape d'étanchéité.

18- Pose de la contrechape d'étanchéité.

17- Laying the waterproofing course.

18- Laying the waterproofing protective layer.

Les piles P8 et P9, situées dans la zone inondable de la Lizaine, ont nécessité la réalisation préalable de batardeaux en palplanches (figure 9).

Le bétonnage de chacune des semelles des deux piles points fixes P5 et P6, dont le volume atteint 1 100 m³, a été réalisé avec deux pompes simultanément, pour une durée de 12 heures chacune (figure 10).

Élévations

Les piles ont été réalisées à l'aide de coffrages métalliques par levées de 4 m :

- Un ensemble de coffrages pour les levées courantes,
- Un ensemble de coffrages pour la tête de pile (voûte),
- Un ensemble de coffrages pour le chevêtre.

Une attention particulière a été portée sur la qualité des parements (cure soignée, nettoyage permanent des coffrages, huilage et vibration très soignés).

Pour les piles points fixes P5 et P6, le respect des dispositions constructives sismiques dans les zones critiques indiquées précédemment conduit à un ferrailage très dense (340 kg/m³). Les fûts ont donc été ferrailés sur toute leur hauteur pour supprimer les recouvrements (figures 11 & 12).

RÉALISATION DU TABLIER DU VIADUC

La charpente du tablier a été assemblée par tronçon, sur une plateforme de montage située à l'arrière des culées dans le prolongement du viaduc.

La charpente métallique, avec avant- bec et ferrailage du hourdis supérieur, est ensuite lancée depuis la plateforme vers ses appuis à l'aide de treuils.

La variation du profil en long sur l'ouvrage a nécessité de lancer le tablier

depuis les deux culées, la jonction des tabliers étant réalisée entre P8 et P9.

Le lançage au-dessus des voies ferrées de la ligne Belfort - Besançon a été réalisé de nuit avec interruption des circulations ferroviaires et consignation de la caténaire (figure 14).

À l'issue du lançage, deux équipages mobiles ont été montés à chaque extrémité de la charpente en vue de réaliser le hourdis (figure 15). Celui-ci a été découpé en 58 plots selon un ordonnancement permettant de limiter les contraintes dans le tablier (coulage des plots sur appuis après les plots en travée).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

RFF – Direction Régionale Bourgogne – Franche Comté

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Groupe Setec (Setec TPI, Setec International, Terrasol, Hydratec)

ARCHITECTE : Lavigne & Cheron

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR

GÉNIE CIVIL : Eiffage TP (mandataire)

CHARPENTE MÉTALLIQUE : Eiffage Construction Métallique

TERRASSEMENTS : Forezienne d'Entreprises

AUTRES INTERVENANTS

PIEUX : Presspali France

APPAREILS D'APPUI : Maurer

ARMATURES : Sendin

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION GÉNIE CIVIL :

Eiffage TP STOA / Corredia

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION CHARPENTE MÉTALLIQUE :

SNCF IGOA / CCS

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION GÉOTECHNIQUE : Arcadis

ÉCRANS PARE BALLAST ET ÉTANCHÉITÉ

Le projet prévoyait la pose d'un complexe de 30 mm d'épaisseur composé d'une feuille armée bitumeuse et d'une contrechape en asphalte. À cette solution a été préférée la pose d'un complexe de la même épaisseur composé d'une feuille armée bitumineuse et d'une contrechape en béton bitumineux (BBSG 0/10), dont la mise en œuvre est plus rapide (figures 17 et 18).

Les feuilles d'étanchéité ont été mise en place de façon, et le BBSG posé à l'aide d'un finisher et de compacteurs. □

ABSTRACT

RHINE-RHONE HSL EASTERN BRANCH, SECTION C: LA LIZAINE VIADUCT

C. SANDRÉ, EIFFAGE TP - Z. HAJAR, EIFFAGE TP - I. BROCHARD, SETEC - J.J. VIRISSEL, SETEC

La Lizaine viaduct (Rhine-Rhone HSL, eastern branch) is a structure with a composite twin-box-girder deck 717 m long, on piers as high as 40 metres. The structure is designed to resist the forces generated by train traffic, including in particular a braking-starting force of up to 7,000 kN, and earthquakes of magnitude 2 m/s². The latter point in particular required very stringent reinforcement structural detailing. The existence of a significant karstic risk in the region required the establishment of systematic procedures to search for and treat karsts. □

LAV RIN-RÓDANO RAMAL ESTE TRAMO C: EL VIADUCTO DE LA LIZAINE

C. SANDRÉ, EIFFAGE TP - Z. HAJAR, EIFFAGE TP - I. BROCHARD, SETEC - J.J. VIRISSEL, SETEC

El viaducto del río Lizaine (LAV Rin-Ródano Ramal Este) es una estructura con tablero de doble cajón mixto de 717 m de longitud, cuyos pilares alcanzan una altura de 40 m. La estructura ha sido diseñada para resistir los esfuerzos derivados de la circulación de los trenes, en particular un esfuerzo de frenado – arranque puede llegara a ser de 7.000 kN, así como seísmos de amplitud 2 m/s². Este último punto impuso, en particular, disposiciones constructivas de armadura muy exigentes. La presencia en la zona de un importante riesgo kárstico requirió la aplicación de procedimientos sistemáticos de búsqueda y de tratamiento de los karsts. □



setec



Concevoir et maîtriser les projets les plus ambitieux

setec est l'un des tout premiers groupes français indépendants d'ingénierie et de conseil. Avec près de 2100 collaborateurs répartis en France et à l'étranger, le groupe dispose de références mondialement reconnues telles que le Viaduc de Millau, le tunnel sous la Manche, les tours de grande hauteur (Projets Phare, Majunga, D2, Coeur Défense, EDF, CBX,...), le Grand Théâtre National de Pékin, ainsi que des projets majeurs d'infrastructures de développement : Autoroutes (A43, A41...) et systèmes ferroviaires (Maîtrises d'œuvre de Ligne à Grande Vitesse : LGV Rhin-Rhône, LGV Est-Européenne, LGV Bretagne-Pays de la Loire, Contournement Nîmes-Montpellier), maîtrises d'ouvrage déléguées, interventions sur le réseau ferré national, tramways.

Nous réunissons les meilleurs experts dans les domaines suivants :

- Travaux Publics (tunnels, ponts, autoroutes, voies ferrées, ports...),
- Bâtiment (bureaux, hôpitaux, industries, centres commerciaux, tours...),
- Environnement (eau, sols, déchets...),
- Organisation et gestion de projet (public, privé, industriel...),
- Nouvelles technologies (télécom, systèmes de transport intelligents...).



42-52 quai de la Seine
Immeuble Central Seine
75583 Paris cedex 12
Tél : +33 1 82 51 62 89
Fax : +33 1 82 51 41 82

www.setec.fr



Membre du Réseau Compétences Intempéries RTP

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Association agréée par arrêté ministériel du 6 avril 1937 - Déclarée en Préfecture sous le n° 174 662

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 200 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **277 000 salariés**.

Nos coordonnées :

- **Par courrier :**
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** www.cnetp.fr
- **Par fax :** 01.70.38.08.00
- **Par téléphone :**
 - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
 - pour les salariés : 01.70.38.07.77
- **Serveur vocal (24h/24) :** 01.70.38.09.00



TUNNEL DE CHAVANNE

AUTEURS : JEAN SOUSA, RESPONSABLE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE SUR LE CHANTIER DU TUNNEL, SETEC - PHILIPPE LEGRAND, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LE TUNNEL, TERRASOL - PATRICK BERLAND, DIRECTEUR DE TRAVAUX DU TUNNEL, SPIE BATIGNOLLES TPCI

LE TUNNEL DE CHAVANNE EST UN TUNNEL MONOTUBE À DEUX VOIES DE 1970 MÈTRES DE LONG SITUÉ À PROXIMITÉ DE LA GARE DE BELFORT-MONTBÉLIARD. LE PROGRAMME IMPORTANT DES RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES ET GÉOLOGIQUES INCLUANT 3 CAMPAGNES SUCCESSIVES DE SONDAGES ET DEUX MARCHÉS DE RECONNAISSANCE EN GRANDEUR RÉELLE (UNE TRANCHÉE ET UN Puits ET UNE GALERIE D'ESSAI) PRÉCONISÉ PAR LE MAÎTRE D'ŒUVRE ET ENGAGÉ PAR RFF A PERMIS DE FIABILISER LE PROJET TECHNIQUE PRÉSENTÉ À L'APPEL D'OFFRES. CECI A CONSTITUÉ L'UN DES ATOUTS PRINCIPAUX, AVEC L'ENGAGEMENT, LA MOTIVATION ET LE PROFESSIONNALISME DU GROUPEMENT D'ENTREPRISES RETENU, DE LA RÉUSSITE DU PROJET ET DU RESPECT DE SON BUDGET ET DU DÉLAI D'EXÉCUTION INITIALEMENT PRÉVUS.



© ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

GÉNÉRALITÉ ET CONCEPTION

Le tunnel de Chavanne a fait l'objet d'un article plus développé dans le numéro 865 d'octobre 2009 de la revue « Travaux ». Il est donc conseillé au lecteur de s'y reporter pour y trouver

des renseignements complémentaires sur plusieurs points particuliers.

Le tunnel de Chavanne permet aux deux voies de LGV de franchir le point haut de son tracé dans un tube unique. Sa section utile de 80 m², soit environ

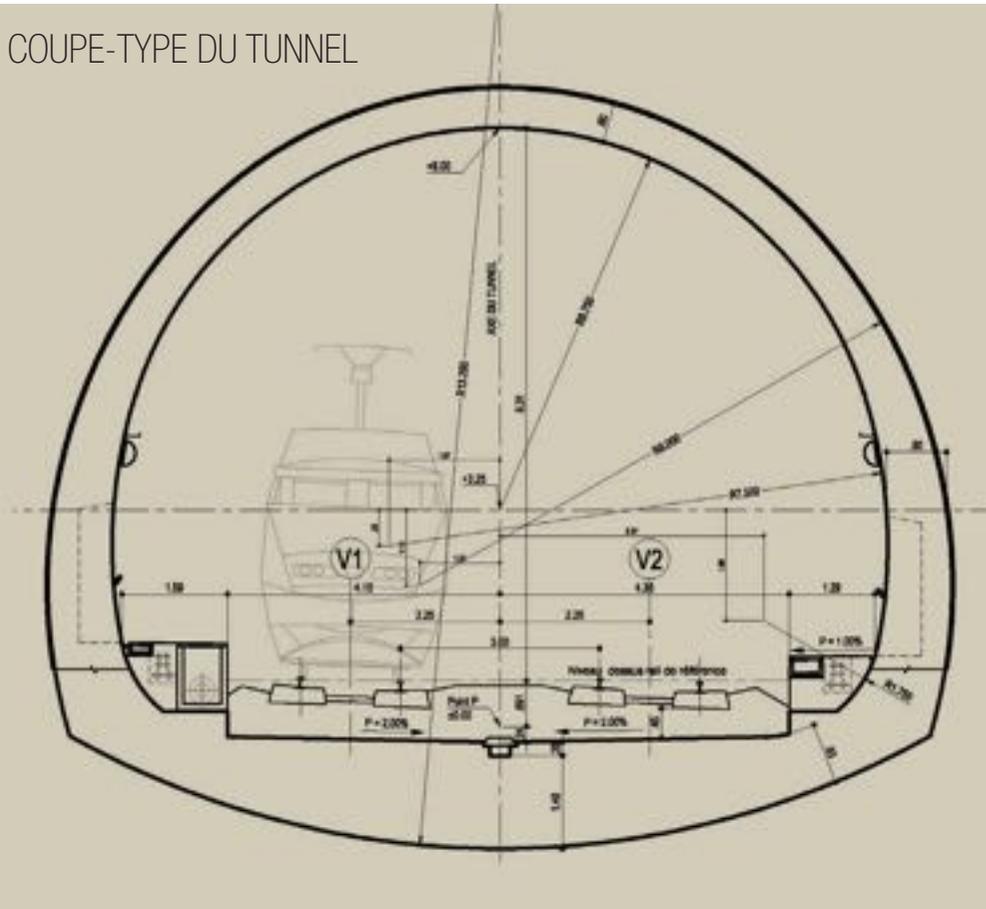
1- Tête Ouest du tunnel achevé.

1- Completed western portal of the tunnel.

130 m² excavés en grande partie à pleine section, autorise une circulation des TGV à 270 km/h (figure 2).

Les éléments de sécurité définis par les règlements en vigueur (ITI 98.300 en l'occurrence, au moment du début de

COUPE-TYPE DU TUNNEL



2

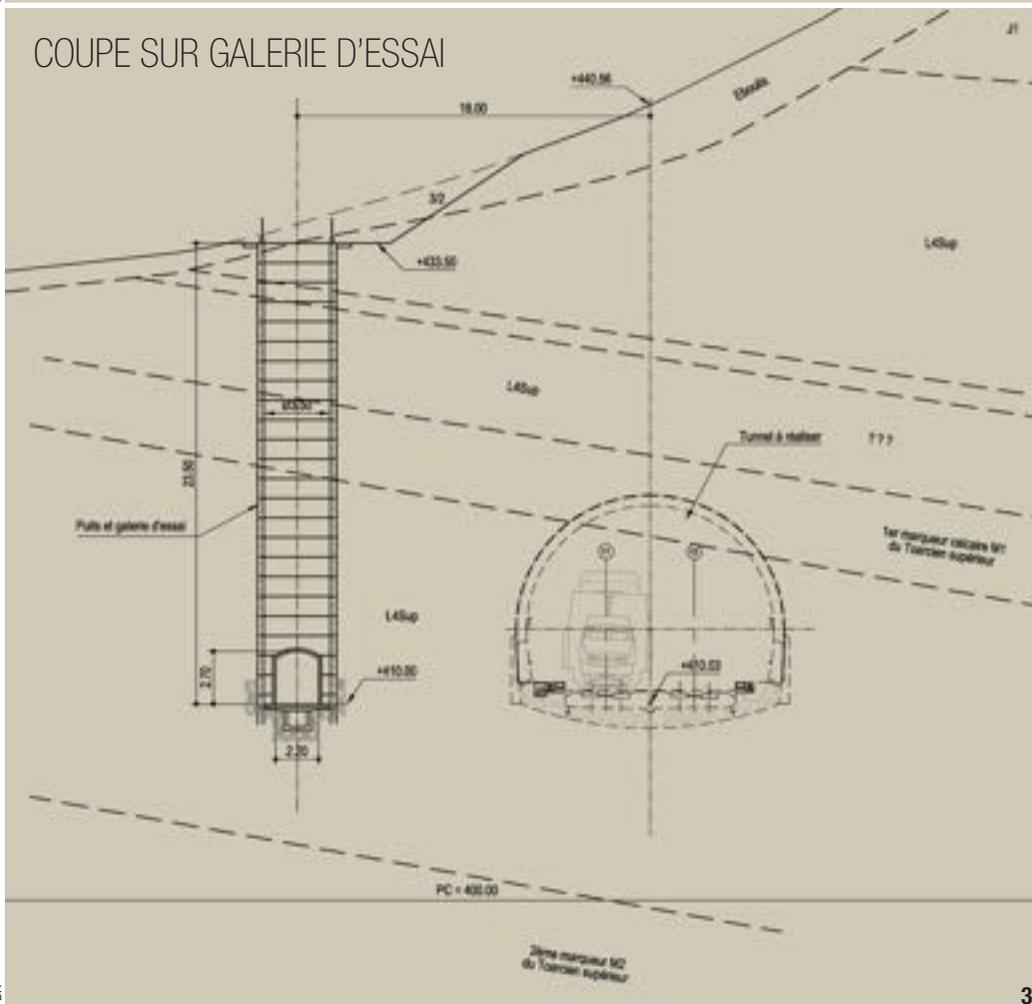
**2- Coupe-type
du tunnel.**
**3- Coupe sur
galerie d'essai.**

**2- Typical
section of
the tunnel.**
**3- Cross section
on test gallery.**

la conception) ont été pris en compte dans leur intégralité dès la conception de l'ouvrage : en particulier un réseau incendie comportant un réservoir d'altitude de 180 m³ et une conduite longitudinale en charge, protégée contre le gel, avec nourrices tous les 250 m ont été prévus. Dans les trottoirs de 1,60 m de large est intégré, en plus de la conduite incendie, l'ensemble des équipements ferroviaires obligatoires pour la sécurité des tunnels (alimentation, traction, signalisation, télécom et nombreux autres réseaux).

Le tunnel est situé à proximité d'une zone naturelle protégée (ZNIEFF), ce qui a conduit à des précautions importantes de protection de l'environnement pendant les travaux.

COUPE SUR GALERIE D'ESSAI



3

CONTEXTE ET CONTRAINTES GÉOLOGIQUES

Le linéaire du tunnel est de 1970 m avec une couverture maximale de 100 m, ce qui est relativement modéré. Les éléments géologiques disponibles (carte, identification des affleurements) et les trois campagnes de reconnaissance réalisées depuis la surface ont mis en évidence des terrains de qualité médiocre, puisqu'il s'agit pour l'essentiel de marnes du Toarcien redoutées pour leur mauvais comportement, leur tectonisation et leur dégradabilité et dont une partie laissait envisager un potentiel de gonflement important, tandis que les risques de cavités était envisagé pour les calcaires (tableau A).

Sur cette base, il est rapidement apparu nécessaire pour fiabiliser le coût et le planning de construction de réaliser des reconnaissances en grandeur réelle : pour ce faire, une tranchée d'essai à l'aplomb de la tête Ouest a permis de mettre en évidence le comportement des clous du soutènement dans le Toarcien inférieur.

Dans un second temps, la réalisation d'un puits et d'une galerie d'essais dans la zone du col où une forte tectonisation était à envisager, a permis de tester les trois types de soutènement immédiat (figure 3).

Toutes les informations collectées ont été mises à disposition des concurrents dès la consultation et ont permis d'exprimer dans le cahier des charges les véritables sujétions particulières auxquelles ils pouvaient s'attendre.

Cette démarche leur a apporté des éléments probants pour étayer leur analyse des risques et constituer leur offre. L'exécution des travaux a confirmé la maquette géologique et géotechnique bâtie au dossier PRO par Setec et Terrasol (figure 4).

Pour la partie de tunnel creusé en souterrain, le revêtement est constitué d'une voûte en béton non armé de 5,75 de rayon, d'épaisseur variable selon la géologie (45 cm au minimum).

Elle se raccorde en partie basse sur un radier en béton ferrailé à un ratio moyen de 75 kg/m³, dont la géométrie, l'épaisseur et le ferrailage sont variables selon les contraintes géologiques rencontrées.

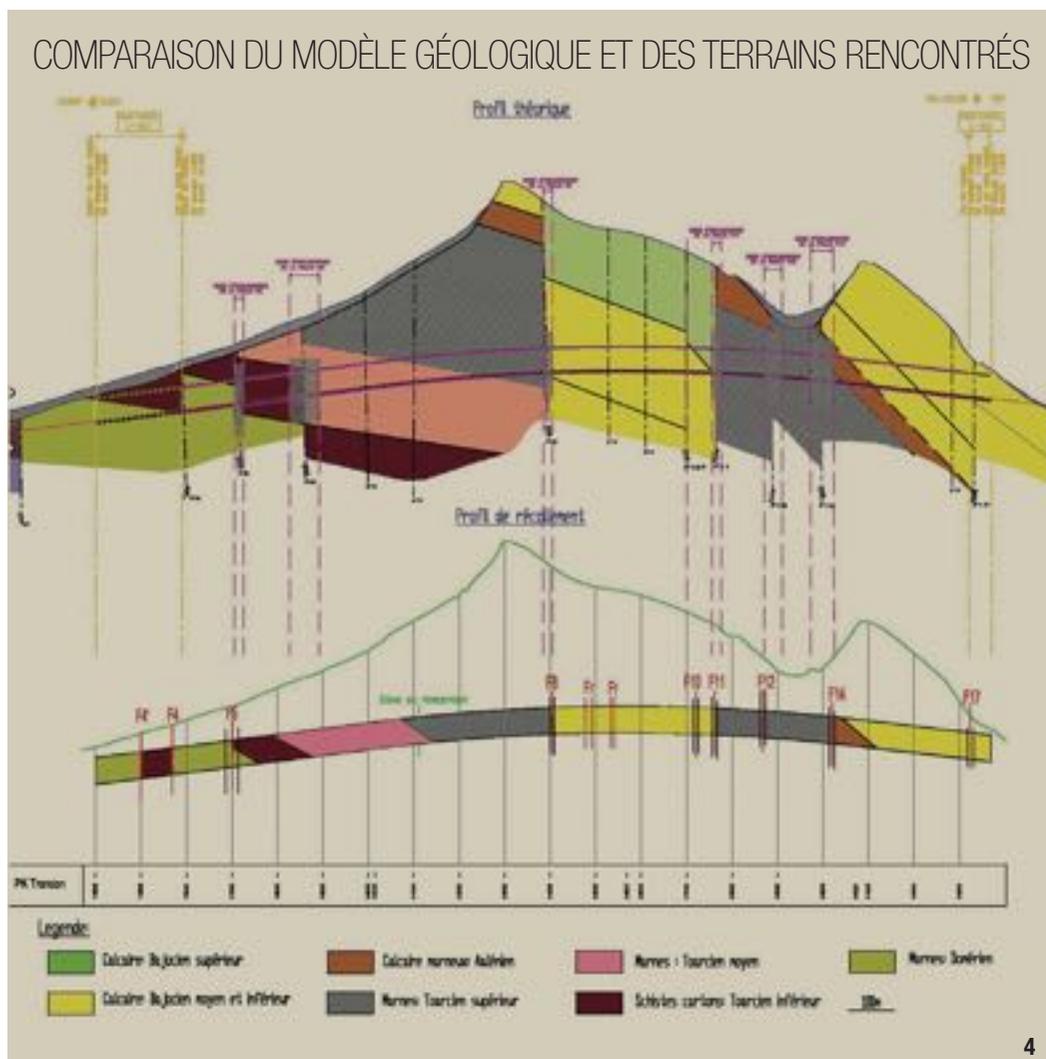
Compte-tenu de la nature des terrains, de la couverture existante, de la charge hydraulique et de la pression de gonflement, trois types de sections de revêtement ont été retenus, notés de R1 le plus léger à R3 le plus important :

→ Section R1 valable dans les calcaires avec voûte de 45 à 80 cm et radier de 60 à 85 cm.

→ Sections R2 et R3 dans les marnes aptes à reprendre les poussées de gonflement ; R2 voûte de 55 à 90 cm et radier variable de 0,80 à 1,20 m, R3 voûte de 0,60 à 1,05 m et radier variable de 0,90 à 1,40 m (et jusqu'à 65 cm² d'acier de flexion par mètre).

RÉALISATION DU TUNNEL

En raison du caractère évolutif et altérable des terrains traversés, notamment ceux à faciès marneux et compte-tenu du planning, l'excavation et le revêtement (radier en béton armé puis voûte) ont été menés de front avec un décalage de 400 m environ avec l'atelier excavation.



Après 19 mois de travaux et 1730 mètres creusés, le percement et la rencontre des deux attaques a eu lieu le 28 janvier 2009.

L'excavation s'est déroulée dans le contexte géologique délicat décrit ci-dessus, avec en particulier la traversée des marnes du Toarcien inférieur. L'entrée progressive dans les marnes du Toarcien inférieur puis du Toarcien moyen en attaque Ouest a fortement perturbé l'avancement par des phénomènes d'instabilité en voûte et au front.

4- Comparaison du modèle géologique et des terrains rencontrés.

5- Chargement d'une voûte.

4- Comparison of the geological model and the ground encountered.

5- Charging a round.

La stabilité immédiate réduite, malgré les bonnes caractéristiques mécaniques des marnes, n'a pas permis une mise en cadence de cette attaque (pas d'avancement variable, pose de présoutènement de type enfilage, excavation en demi section). Il en résulte un décalage de la jonction, initialement prévue au Pm 900 de l'attaque Est, au Pm 1208 (tableau B et C). En attaque Est (tableau C), après une excavation à l'explosif au pas de 5 ml/j sur 300 ml dans les calcaires du Bajocien (photo 5), la traversée de la « zone du col » (compartiment marneux de 260 ml tectonisé) a confirmé les difficultés attendues puisqu'elle s'est effectuée avec une excavation essentiellement mécanique (passage ponctuel à l'explosif) et une alternance de soutènement et type cintré ou coque boulonnée en fonction des zones de failles rencontrées. Les difficultés étaient en particulier accentuées par les venues d'eau au travers d'un banc calcaire marqueur, repéré en phase études, au sein des marnes.

CALENDRIER DES TRAVAUX DU TUNNEL DE CHAVANNE

OCTOBRE 2006 : Notification du Marché

JUIN 2007 - JANVIER 2009 : Creusement du tunnel

JUILLET 2008 - MAI 2009 : Construction de la coque intérieure

JUIN 2009 - SEPTEMBRE 2009 : Réalisation des trottoirs

JANVIER 2010 : Début de la pose des équipements ferroviaires à l'intérieur du tunnel



5

TABLEAU A : CAMPAGNES DE RECONNAISSANCES

	APS	APD	PRO
Sondages carottés	8	14	9
Sondages pressiométriques	5	5	2
Principaux essais <i>in situ</i> :			
• Essais dilatométriques	10	14	
• Essais Lugeon	0	33	15
• Diagraphies et mesures en sondages	Oui	Oui	Oui
• Fracturation hydraulique			5
• Piézométrie		Oui	Oui
• Cellules de pression		Oui	Oui
Principaux essais en laboratoire :			
• Minéralogique et chimique	Oui	Oui	Oui
• Gonflement oedomètre	3	0	19
• Gonflement Huder-Amberg	5	2	6
• Résistance à la traction	21	17	23
• Rc ou Rc+E	41	48	16
• Triaxiaux	3	6	17

TABLEAU B : BILAN AVANCEMENT ATTAQUE OUEST

Linéaire réalisé : 522 m soit 30 % de la longueur totale

Formations traversées	Linéaire ml	Moyen d'excavation (ml)		Cadences moyennes ml/j
		Mécanique	Explosif	
Marne du Domérien	105	71	34	1.14
Zone de transition	85	45	40	1.16
Schistes cartons du Toarcien inférieur	90	-	90	1.90
Zone de transition	42	42	-	1.43
Marnes du Toarcien moyen	200	149	51	1.80
Total	522	307	215	1.47
<i>Soit</i>		59%	41%	

TABLEAU C : BILAN AVANCEMENT ATTAQUE EST

Linéaire réalisé : 1 210 m soit 70 % de la longueur totale

Formations traversées	Linéaire ml	Moyen d'excavation (ml)		Cadences moyennes ml/j
		Mécanique	Explosif	
Calcaire du Bajocien	650	-	650	4.50
Marnes du Toarcien supérieur	505	177	328	2.20
Marnes du Toarcien moyen	55	-	55	2.80
Total	1 210	177	1 033	3.10
<i>Soit</i>		15%	85%	

TABLEAU D : ÉPAISSEUR DES REVÊTEMENTS RÉALISÉS

Type de revêtement	Épaisseur maximale de béton du radier (m)	Ratios d'armatures (kg/m ³)
R1	0.85	65
R2	1.20	68
R3	1.40	103



6- Ferrailage de type R2.
7- Tunnel achevé.

6- R2 type reinforcing bars.
7- Completed tunnel.

Il est à noter que cette zone concentre la totalité des zones cintrées et d'excavation mécanique de l'attaque Est, alors qu'elle n'en représente que 20 % du linéaire.

En effet, à partir du PM 560, l'excavation s'est poursuivie à l'explosif jusqu'à la jonction, avec des pas allant jusqu'à 5,8 m/j dans les calcaires du Bajocien (PM 560-917) et jusqu'à 4 m/j dans les marnes saines du TOARCIEEN supérieur (PM 917-1208) ; le soutènement mis en œuvre est de type coque boulonnée sur l'ensemble de ce linéaire. Concernant le revêtement, les premiers bétonnages ont débuté par le faux-tunnel Est (50 ml) en septembre 2007, avec une entrée en tunnel de l'outil coffrant des voûtes en janvier 2008 (fin novembre 2007 pour les radiers). ▷

UN PLANNING TRÈS SERRÉ

- 34 mois de travaux réalisés par un Groupement d'entreprises dont Spie Batignolles TPCI est le mandataire. Le chantier a fonctionné 6 jours/7, 24h/24 en trois postes.
- Si le tunnel a mobilisé à lui seul 185 personnes, l'ensemble du chantier (tunnel, ouvrage et terrassements) a compté 300 personnes dont 150 recrutées localement et 30 contrats d'insertion.

En attaque Ouest (tableau B), du fait de la réutilisation de l'enveloppe coffrante extradados de l'outil Est, du temps de transfert et de remontage sur l'attaque Ouest, la réalisation des voûtes du faux tunnel Ouest (190 ml) a commencé en mars 2008 (bétonnage des radiers dès novembre 2007) avec une entrée en tunnel en novembre 2008 (juillet 2008 pour les radiers) (photo 6).

Avec le béton de blocage, 30 000 m³ de béton ont été mis en œuvre pour la réalisation du radier, achevée le 8 mai 2009 (tableau D).

Le bétonnage des banquettes est effectué via un outil coffrant spécifique en arrière des radiers.

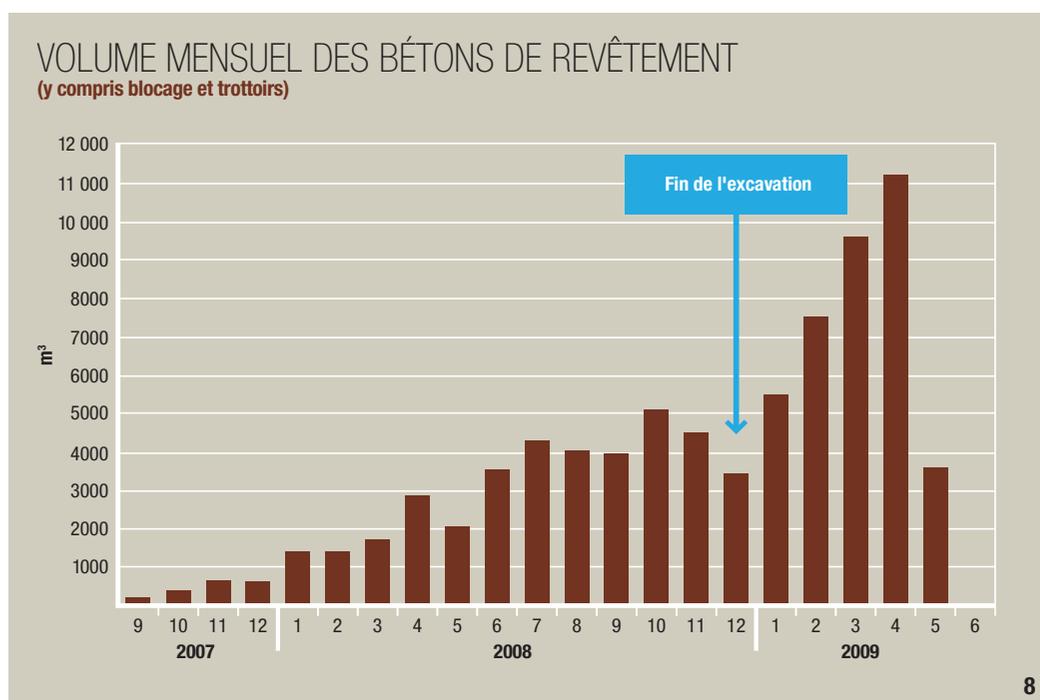
Pour les voûtes, une formulation de béton adaptée, à base de 350 kg/m³ de ciment CEM III 42,5 PMES, dans l'optique de limiter l'exothermie et le retrait thermique associé, a permis d'obtenir un revêtement de qualité : absence de fissures et uniformité de teinte.

Les voûtes sont réalisées avec les deux outils coffrant métalliques autobloquants de 10 m de longueur, équipés d'un système de vibration électrique, ayant servi au bétonnage des faux tunnels.

Pour les faux tunnels et les voûtes réalisées en sous terrain 39 000 m³ de béton ont été pompés.

L'étanchéité du tunnel est assurée par la mise en œuvre d'une géomembrane (D.E.G.) synthétique à base de PVC-P. Le dispositif proposé par l'entreprise et son sous-traitant étancheur G.C.C. dispose de l'Avis technique CETU.

Dès la fin du creusement, à partir de janvier 2009, les cadences de bétonnage se sont accentuées pour atteindre au mois d'avril 2009 plus de 11 000 m³ de béton pompés pour réaliser 250 ml de radier et 240 ml de voûte (figure 8).



8- Volume mensuel des bétons de revêtement (y compris blocage et trottoirs).

8- Monthly volume of lining concretes (including prepacked concrete and footpaths).

L'ouvrage de génie civil achevé en septembre 2009 y compris les trottoirs a ensuite été confié aux marchés d'équipements de sécurité et équipements ferroviaires (photo 7). Les coûts et délais prévus initialement ont été respectés. □

LE TUNNEL DE CHAVANNE EN QUELQUES CHIFFRES

LONGUEUR DU TUNNEL : 1 970 ml dont 240 m de tranchée couverte (faux tunnel)

SECTION UTILE : 80 m²

VOLUME DE DÉBLAI EN TUNNEL : 245 000 m³

NATURE DES MATÉRIAUX : 1/3 calcaire, 2/3 marnes

VOLUME DE BÉTON DU REVÊTEMENT DU TUNNEL (RADIET ET VOÛTE) : 100 000 m³

INTERVENANTS PRINCIPAUX

MAÎTRE D'OUVRAGE : Réseau Ferré de France

MAÎTRE D'ŒUVRE (CONCEPTION, VISA ET DET) : SETEC

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Spie Batignolles TPCI mandataire, CAMPENON BERNARD TP, CHANTIERS MODERNES Rhône-Alpes, VALERIAN, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENTS, BONNEFOY SA, EUROVIA Alsace Franche Comté, SACER Paris N/E

ABSTRACT

CHAVANNE TUNNEL

J. SOUSA, SETEC - P. LEGRAND, TERRASOL - P. BERLAND, SPIE BATIGNOLLES TPCI

The Chavanne tunnel is a single-tube two-track tunnel 1970 metres long located near the Belfort-Montbéliard railway station. The major geotechnical and geological reconnaissance programme, including three successive test boring campaigns and two full-scale reconnaissance contracts (one trench and one pit and a test gallery), recommended by the project manager and undertaken by RFF, made it possible to improve the reliability of the technical project presented for the invitation to tender. This was one of the main assets, together with the dedication, motivation and professionalism of the selected consortium, contributing to the success of the project and to compliance with the initially scheduled budget and completion time. □

TÚNEL DE CHAVANNE

J. SOUSA, SETEC - P. LEGRAND, TERRASOL - P. BERLAND, SPIE BATIGNOLLES TPCI

El túnel de Chavanne es un túnel monotubo de dos carriles de 1.970 metros de longitud situado cerca de la estación de Belfort-Montbéliard. El importante programa de reconocimientos geotécnicos y geológicos, que incluía 3 campañas sucesivas de sondeos y dos contratos de reconocimiento a tamaño natural (una zanja y un pozo y una galería de ensayos recomendado por el contratista e iniciado por RFF permitió fiabilizar el proyecto técnico presentado en la licitación. Esto constituyó una de las principales ventajas, junto con el compromiso, la motivación y la profesionalidad de la agrupación de empresas seleccionada, el éxito del proyecto, el respeto del presupuesto y el plazo de ejecución inicialmente previstos. □



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

STRRES

Le STRRES est le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures.

Il rassemble 60 entreprises qui exercent, à titre principal ou secondaire, une activité d'entretien, de réparation et de réhabilitation des structures de Génie civil.

Le STRRES est adhérent de la FNTF.

Retrouvez sur **www.strres.org** :

Les guides



Pour mieux connaître et appliquer les règles de l'art en matière de réparation et de renforcement d'ouvrages, **consultez ou téléchargez gratuitement 12 guides techniques du STRRES.**

Les entreprises



Trouver une entreprise **par domaine d'activité, par région et/ou par identification professionnelle.**

SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX
DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES
3 rue de Berri 75008 Paris • Tél. : 01 44 13 31 82 • Fax : 01 44 13 32 44 •
strres@strres.org • www.strres.org

ABS • ADS ouvrages d'art • AFGC • AGTP • ARREBA • ATS • AXIMUM • BASF CC France • BAUDIN-CHATEAUNEUF • BEC • BEKAERT France • BERTHOLD SA • BTPS • CHANTIERS MODERNES SUD • COFEX Ile-de-France • COFEX LITTORAL • COFEX REGIONS • COLAS RAIL • CTICM • CROBAM • DEMATHEU ET BARD • ECM • EGM TNC • EIFFAGE TP/ Département GCN • EIFFEL CONSTRUCTION MÉTALLIQUE • ENTREPRISE BONNET • ETANDEX • ETPO • EUROVIA BÉTON • FAURE SILVA • FAYAT • HOLCIM • FREYSSINET France • FREYSSINET International & Cie • GAUTHIER • GTS/Département ELITE • LAFARGE • LETESSIER • MAPI • MCCF • NOUVETRA • OUEST ACRO SA • PAGEL SAS • PAREXLENKO • PERRIER SAS • POA • RAZEL • RCA • RENOFORS • RESINA • RESIREP • SNC • RICHERT • SAINT-GOBAIN WEBER France • SARL ROMOEUF • SEFI-INTRAFOR • SIKA • SIRCO TRAVAUX SPÉCIAUX • SNCTP • SOFRARES • SOLETANCHE BACHY • SOTEM • SORREBA TECHNOLOGIE • SOTRAIB EAU • SPIE BATIGNOLLES TECHNOLOGIES • STPL • TEMSOL • TSV • VIA PONTIS • VINCI CONSTRUCTION France • VSL France

STRRES



NOTRE TALENT
DÉFIE LE TEMPS

LE VIADUC DE LA SAVOUREUSE

AUTEURS : C. CEZARD, EGIS JMI - Q. HAESSLER, SETEC - P. SCHMITT, SNCF IGOA -
R. SCHAEFFER, EIFFAGE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE - V. CRESPIN, EIFFAGE T.P.

LE VIADUC DE LA SAVOUREUSE A DÉJÀ FAIT L'OBJET, DANS LE NUMÉRO 870 DE CETTE REVUE, DE DEUX EXPOSÉS GÉNÉRAUX CONSACRÉS L'UN AUX ÉTUDES, ET L'AUTRE AUX TRAVAUX. AUSSI, APRÈS UN RAPPEL SUCCINCT DE SES CARACTÉRISTIQUES, CE NOUVEL ARTICLE DÉCRIT-IL LES SOLUTIONS APPORTÉES AUX PROBLÈMES PARTICULIERS POSÉS PAR SA CONCEPTION ARCHITECTURALE INHABITUELLE.



LA CONCEPTION INITIALE

Le maître de l'ouvrage a estimé que la taille et la situation du viaduc de la Savoureuse aux portes de Belfort justifiaient un traitement architectural particulier. Au terme d'un concours de concepteurs préparé par Setec, le projet présenté par Egis JMI, le cabinet d'architectes Wilkinson Eyre et le paysagiste Alfred Peter a été retenu (avril 2004). Il n'était pas facile d'insérer un grand viaduc ferroviaire dans ce site déjà bien occupé. De plus, la nouvelle ligne coupe la vallée de biais, et le profil en long présente une pente marquée. Compte tenu de la multiplicité des points de vue, on a retenu une struc-

ture à travées régulières, un tablier d'épaisseur constante, et des piles façonnées suivant une forme unique. La plus courte portée compatible avec les différents obstacles était alors de 66 m (figure 1).

Pour minimiser l'impact visuel de l'ouvrage, on a choisi un tablier de type RAPL, associant une dalle en poutrelles

enrobées et des poutres latérales en acier. Placées de part et d'autre des voies, les poutres tiennent lieu d'écrans phoniques et de pare-ballast.

Pour réduire encore leur hauteur, on les a encastrées sur des béquilles inclinées, entre lesquelles la portée était ramenée à 45 m. Le schéma statique était alors celui d'une succession de portiques indépendants, séparés au niveau du tablier par des joints de dilatation, mais réunis à la base des béquilles par une fondation commune. La longueur dilatable des tronçons restait suffisamment courte pour que les longs rails soudés puissent franchir le viaduc sans discontinuité.

1- Le viaduc de la Savoureuse.

1- La Savoureuse viaduct.

L'originalité de l'ouvrage résidait dans le choix de l'architecte de faire converger les béquilles d'une même pile en bouquet sur un socle pyramidal très ramassé (figure 2). L'ouvrage paraissait plus léger, mais il était aussi plus sensible aux actions ferroviaires et sismiques.

LE PROJET EXÉCUTÉ

Pour des raisons d'économie, le maître d'ouvrage a choisi à l'issue de l'appel d'offres une variante présentée par le groupement conduit par l'entreprise Eiffage Construction Métallique.

Elle respectait la conception architecturale, mais apportait au projet initial plusieurs modifications (tableau 1).

La variante avait l'avantage d'éliminer les difficultés liées à la structure en portique. Du fait de la concentration des efforts à l'encastrement du tablier sur les béquilles, dans des sections que l'architecte souhaitait très fines, on avait dû prévoir des tôles d'acier S 460 en forte épaisseur. Les soudures les plus difficiles à réaliser, lors de l'assemblage du tablier et des béquilles, étaient aussi les plus critiques.

Dans le nouveau schéma statique, les sections les plus sollicitées se trouvaient désormais au milieu des travées et à la base des béquilles ; leurs dimensions étaient plus généreuses. Toute l'ossature métallique de l'ouvrage pouvait être constituée d'acier S 355. Malgré une consommation d'acier plus faible, l'ensemble constitué par les quatre béquilles d'une pile d'un tétrapode et le tronçon de tablier qu'elles supportent formait un bloc d'une grande rigidité.

La variante était donc plus facile à construire. Mais cette simplification, et l'économie réalisée sur les quantités, avaient pour contrepartie une déformabilité plus importante sous l'effet des charges ferroviaires. Sous séisme également, les faibles dimensions des surfaces d'appui des travées indépendantes introduisaient un risque de chute latérale contre lequel il a fallu se prémunir.

LES PROBLÈMES PARTICULIERS RENCONTRÉS LORS DES ÉTUDES D'EXÉCUTION

COMPORTEMENT SOUS CHARGES DYNAMIQUES

Les travées indépendantes de la variante pouvaient osciller plus librement que la traverse des portiques. On pouvait craindre qu'elles n'entrent en résonance si les essieux des convois se succédaient à la fréquence propre de ces oscillations.



1
© J. MARX

Heureusement, alors que les vibrations propres de la dalle en poutrelles enrobées du projet initial amplifiaient de façon très sensible celles des poutres porteuses du tablier, la nouvelle structure transversale s'est avérée beaucoup plus rigide. De même, et bien qu'on eût conservé dans les calculs le pourcentage d'amortissement critique d'un tablier entièrement métallique, le voile de béton relevé le long des âmes des poutres au voisinage de leurs extrémités a eu un effet favorable sur le comportement dynamique.

Néanmoins, plusieurs calculs contradictoires ont été nécessaires pour s'assurer que l'accélération verticale du tablier au passage des convois du train dynamique universel restait acceptable. Elle atteignait en effet près de 5 m/s^2 si l'on ne modélisait qu'une travée isolée, supposée sur appuis simples. Mais on retrouvait des valeurs proches de la limite ($3,5 \text{ m/s}^2$) en introduisant dans le modèle les piles et les travées voisines : Leurs vibrations suivant des périodes légèrement différentes contrariaient celles de la travée étudiée. Cet effet était d'autant plus accentué que les piles étaient plus souples.

COMPORTEMENT SOUS FREINAGE ET DÉMARRAGE DES TRAINS

Comme les rails franchissent le viaduc sans aucune coupure, ils reprennent une fraction des efforts horizontaux exercés sur celui-ci. Afin de limiter leur sollicitation, le référentiel de la ligne exige de l'ouvrage une rigidité minimale : Son déplacement horizontal ne doit pas dépasser 5 mm sous l'effet simultané du freinage et du démarrage de deux trains roulant en sens inverse (l'effort correspondant peut atteindre 7 MN).

Ce critère n'a pu être satisfait qu'en tenant compte de la contribution des rails à la rigidité de l'ensemble voies-ouvrage. Il a fallu de surcroît raidir les béquilles métalliques, en remplissant leur base de béton. Ce béton C50/60 est armé, confiné par des diaphragmes, et connecté aux parois.

DÉFORMATION TRANSVERSALE DES TABLIERS

La variante prévoyait de remplacer par des poutres en I les poutres principales en caisson du projet initial.

Pour respecter le parti architectural, on a ensuite excentré leur âme vers l'extérieur, mais la section en C ainsi obtenue se tord sous l'effet des charges. Les contraintes normales supplémen-



2

© EGIS JMI

taires engendrées dans les membrures ont été calculées par la théorie de la torsion gênée des profils minces, et vérifiées par un modèle aux éléments finis. La stabilité des membrures vis-à-vis du flambement latéral a été vérifiée par des calculs en grand déplacements, en tenant compte de la déformation initiale engendrée par les charges permanentes.

DIFFUSION DE L'EFFORT TRANCHANT À L'ABOUT DES POUTRES

Aux extrémités des travées, les poutres latérales en C se terminent par des caissons sous lesquels sont placés les appareils d'appui. La diffusion des efforts de cisaillement d'une section à l'autre est assurée par un voile de béton

armé d'épaisseur variable, connecté sur les tôles (figure 3).

S'il est courant de doubler en béton les âmes des poutres latérales des ponts-rails, c'est la première fois que ce béton joue un rôle structural. Il assure le transfert de l'effort tranchant, rigidifie les panneaux d'âme et permet de simplifier la charpente.

2- Les piles « tétrapodes » conçues par l'architecte.

2- The «tetrapod» piers designed by the architect.

PRINCIPALES QUANTITÉS

FONDACTIONS

109 pieux Ø 1 600 mm

BÉTON : 3 450 m³

ARMATURES : 615 tonnes

GÉNIE CIVIL

BÉTON : 17 000 m³

COFFRAGE : 14 000 m²

ARMATURES : 3 650 tonnes

PRÉCONTRAÎTE : 74 tonnes

CHARPENTE MÉTALLIQUE

BÉQUILLES : 2 300 tonnes

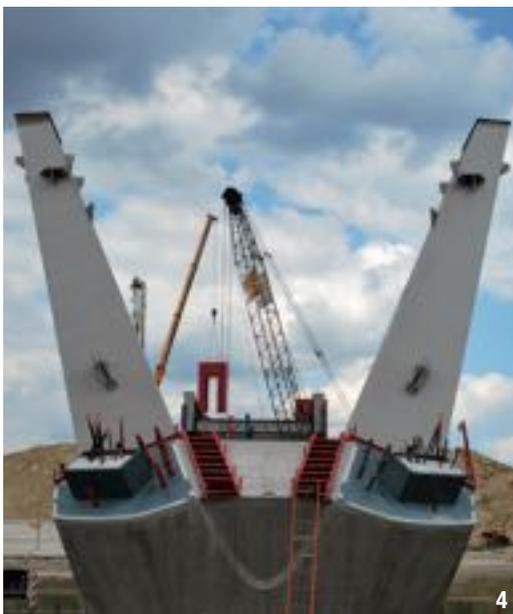
TABLIER : 6 900 tonnes



3



5



4

CHOIX DU SYSTÈME D'APPUI DES TRAVÉES

Au droit des joints de dilatation, la section en U du tablier se déforme au passage des trains. Pour éviter que ces déformations ne soumettent les rails à des efforts transversaux préjudiciables à leur pérennité, le tablier est bloqué transversalement à l'extrémité de chacune des poutres. Cette fonction est assurée par les appareils d'appui : Fixes à l'extrémité Est des travées, ils glissent suivant l'axe du pont à l'autre extrémité. Cette disposition inhabituelle a conduit à étudier en détail l'influence du jeu des pièces de blocage sur la répartition des efforts transversaux entre les deux appuis d'une même ligne, et à régler très précisément leur parallélisme afin d'éviter tout grippage.

En dépit de la sophistication des méthodes de calcul, l'évaluation des efforts sismiques reste assez imprécise. C'est pourquoi des embrèvements ont été réalisés dans le hourdis du tablier, afin d'augmenter la sécurité vis-à-vis de la chute latérale d'une travée.

3- Extrémité d'une travée indépendante avant ferrailage et bétonnage.

4- Contre-platines de réglage des béquilles et barres de clouage.

5- Réglage des contre-platines.

3- End of an independent span before reinforcement and concreting.

4- Counter-plates for strut adjustment and stitching bars.

5- Adjusting the counter-plates.

LES PROBLÈMES PARTICULIERS RENCONTRÉS LORS DES TRAVAUX

La conception originale du viaduc a confronté l'entrepreneur à des difficultés d'exécution inhabituelles. Elles sont décrites en détail dans le numéro 870 de cette revue. On reviendra néanmoins sur les moyens mis en œuvre pour respecter la géométrie théorique de l'ouvrage, malgré la taille des pièces, la sévérité des tolérances et l'éloignement des sites d'assemblage.

MAÎTRISE DE LA POSITION DU SOMMET DES BÉQUILLES

Les béquilles avaient 15 m de haut et pesaient 50 tonnes. Elles ont été posées à la grue, et clouées par pré-contrainte sur le socle en béton des tétrapodes. Pour respecter à 2 mm près la position théorique de leur sommet, leur base devait être implantée avec une très grande précision.

On avait donc prévu d'ajuster en usine une contre-platine à la platine d'appui des béquilles, de régler finement la

position des contre-platines sur l'embase en béton, puis de combler le vide entre les deux par du mortier de résine (figure 4). Des contrôles topographiques contradictoires étaient effectués avant et après chaque opération : mise en place des gaines des barres de clouage, bétonnage de l'embase, réglage et scellement des contre-platines, pose et ancrage des béquilles, injection des gaines et mise en place du béton de remplissage des béquilles, ajustement de la section sommitale... Ainsi pouvait-on corriger lors de l'étape suivante les écarts constatés au terme de chaque phase.

Les quatre contre-platines d'un même tétrapode étaient suspendues par des vis de réglage sous un gabarit très rigide, ancré sur l'embase (figure 5). Le réglage topographique, effectué au moyen de prismes fixés sur les contre-platines, était conduit en liaison directe avec le bureau d'études, qui évaluait en temps réel ses effets sur la position des sommets des quatre béquilles.

ASSEMBLAGE DU TABLIER SUR LES BÉQUILLES

Pour pouvoir mettre en place le tablier par lancement, on a assemblé bout à bout les travées indépendantes de 45 m et les tronçons courts de 21 m destinés à être encastrés sur les béquilles. Des selles de glissement ont été installées dans l'axe des tétrapodes sur un châssis reliant les sommets des béquilles. Au cours du lancement, le schéma statique du tablier était ainsi celui d'une poutre continue sur des appuis simples espacés de 66 m (figure 6).

Pour passer dans la configuration finale, il a fallu libérer les liaisons provisoires, régler la position des tronçons, souder les poutres du tablier sur les béquilles et activer les appareils d'appui définitifs, en préservant l'équilibre des pièces dans chacune des phases intermédiaires. Malgré une programmation minutieuse, ces opérations délicates ont duré plusieurs mois.

LES ÉPREUVES DYNAMIQUES DE L'OUVRAGE

On a mis à profit les circulations d'essai de la nouvelle ligne pour mesurer l'accélération verticale et la flèche du tablier sous chargement dynamique. Outre la travée de rive ouest, où les calculs avaient trouvé les valeurs les plus élevées, les trois dernières travées de 45 m, le dernier tétrapode et le tronçon court de l'extrémité Est ont été équipés de capteurs.

TABLEAU 1 : COMPARAISON DU PROJET INITIAL ET DE LA VARIANTE EXÉCUTÉE

	Projet initial	Variante
Schéma statique	Succession de portiques à béquilles, séparés par des joints de dilatation 	Travées indépendantes appuyées aux extrémités de tronçons courts encastrés sur les béquilles 
Structure transversale	Dalle à poutrelles enrobées transversales HEA 500	Dalle mince sur pièces de pont de 1,25 m de haut, espacées de 2,6 m
Poutres latérales	Caissons de 3,5 m de haut	Poutres en C de 4,0 m de haut
Fondations	Barrettes en paroi moulée	Pieux forés tubés



6

© SETEC

La rame d'essai était une rame DASYE, assez proche du convoi A2 du train dynamique universel, mais moins longue (8 voitures intermédiaires au lieu de 17) et moins lourde : Les essieux moteurs ne pesaient que 17 t, et ceux des bogies intermédiaires 15 t.

Les valeurs mesurées ont donc été bien inférieures aux valeurs maximales des calculs d'exécution.

L'intérêt des essais était donc de confirmer la validité des calculs, plutôt que de s'assurer du respect des limites fixées par le référentiel.

TRAVÉES INDÉPENDANTES DE 45 m

Suivant la position de la travée dans l'ouvrage et la vitesse du train, un seul ou plusieurs modes de vibration sont simultanément excités. Il en résulte deux types de comportement :

→ On n'observe qu'un seul pic de fréquence, correspondant au premier mode d'oscillation de flexion dans le plan vertical ($n = 2,2$ à $2,3$ herz), lorsque la vitesse de la rame est voisine de la vitesse critique correspondante $V = 3,6.D.n$ (figure 7).

L'accélération verticale et la flèche du tablier augmentent à mesure que les bogies défilent au droit du point de mesure. On ne peut cependant parler de résonance, car l'amplification reste modérée.

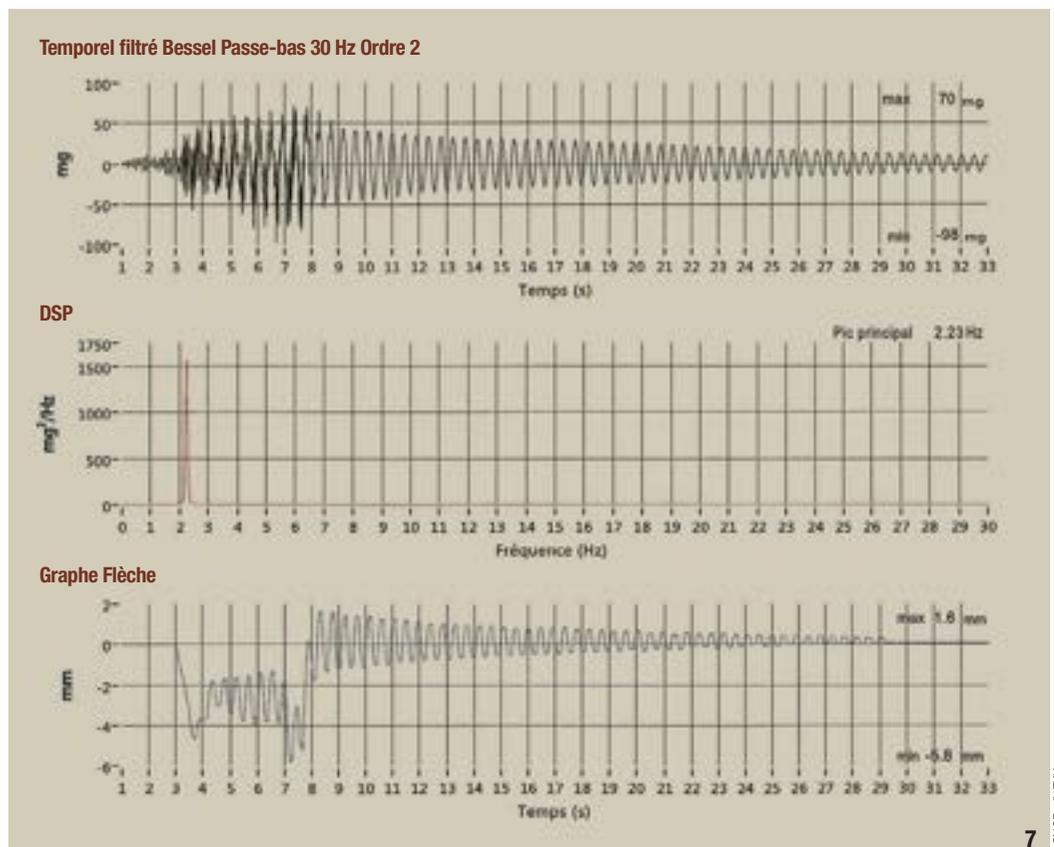
Une fois le train passé, le graphe est

6- Mise en œuvre du schéma statique définitif.

7- Travée P10P11 : Dijon > Mulhouse à 161 km/h le 25/7/2011.

6- Implementing the final static diagram.

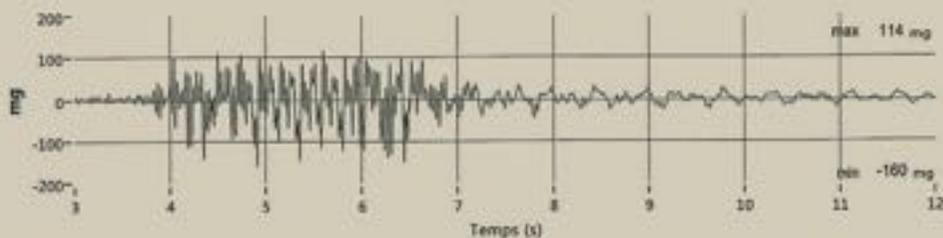
7- P10P11 span: Dijon > Mulhouse at 161 km/h on 25/7/2011.



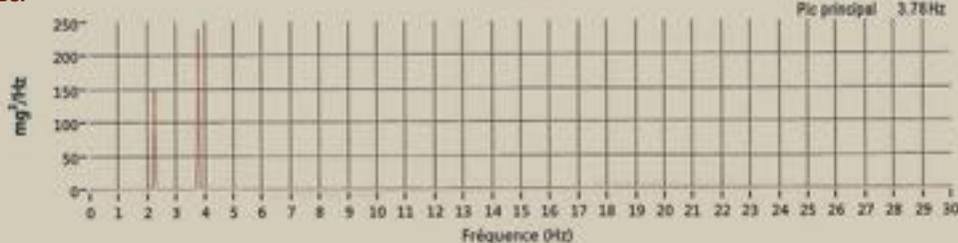
7

© SNCF - INEXIA

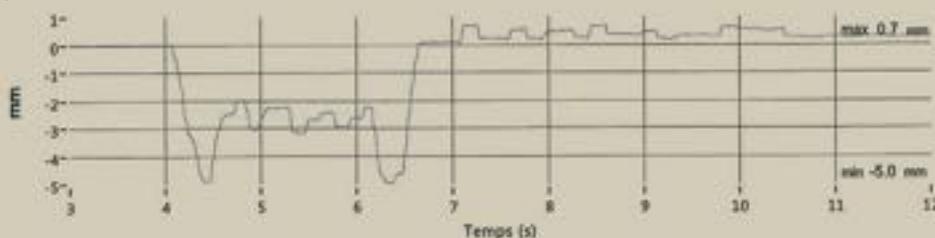
Temporel filtré Bessel Passe-bas 30 Hz Ordre 2



DSP

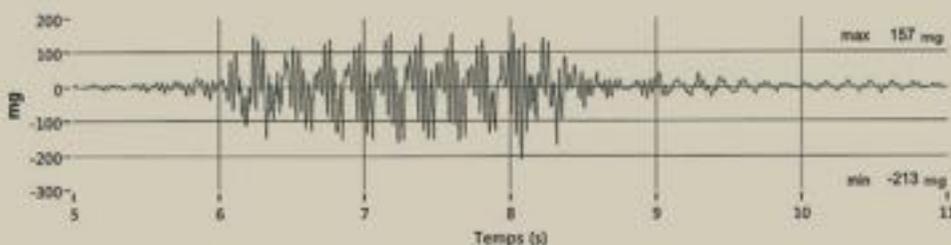


Graphe Flèche



8

Temporel filtré Bessel Passe-bas 30 Hz Ordre 2



9



10

8- Travée P10P11 : Dijon > Mulhouse à 301 km/h le 21/7/2011.

9- Tétrapode P12 : Dijon > Mulhouse à 320 km/h le 28/7/2011.

10- Lancement de l'ossature du tablier avec certaines zones de la dalle.

8- P10P11 span: Dijon > Mulhouse at 301 km/h on 21/7/2011.

9- P12 tetrapod: Dijon > Mulhouse at 320 km/h on 28/7/2011.

10- Launching the deck structure with certain areas of the slab.

lération est atteinte à plusieurs reprises au cours du passage du train, sans amplification notable (figure 8).

Les accélérations les plus fortes ont été mesurées dans la travée de rive ouest, pour les vitesses les plus élevées : On a atteint 2,6 m/s² à 346 km/h. Il s'agit alors de pics isolés, les autres pics ne dépassant pas 2 m/s². Dans les travées Est, les maxima sont restés inférieurs à 1,8 m/s².

TRONÇONS COURTS DU TABLIER ENCASTRÉS SUR LES APPUIS

Sur le tétrapode P12, l'accélération maximale a atteint 2,1 m/s² aux vitesses les plus élevées. Là encore, le maximum apparaît avant la fin du passage de la rame, sur une courbe périodique qui ne montre pas d'amplification notable du signal (figure 9).

On avait obtenu lors des études de fortes accélérations en certains points du tronçon court de l'extrémité Est du viaduc. En fait, la valeur maximale mesurée à mi-portée n'a pas dépassé 1,8 m/s².

INFLUENCE DE LA STRUCTURE TRANSVERSALE

Pour évaluer la part des vibrations propres de la structure transversale dans l'accélération verticale du tablier, la section médiane de la dernière travée a été instrumentée en trois points : ▷

celui d'un mouvement sinusoïdal amorti. On peut estimer le pourcentage d'amortissement critique ξ en recherchant la courbe qui coïncide le mieux avec chaque enregistrement. Les valeurs mesurées vont de 0,3 à 1,2%, avec une moyenne de 0,5%, égale à la valeur retenue dans les calculs.

→ Lorsque la vitesse de la rame s'écarte de la vitesse critique du premier mode de flexion verticale, d'autres modes se superposent à celui-ci. Dans les travées Est, la fréquence du mode supplémentaire, égale à 3,8 herz, correspond au premier mode de torsion de la travée. Il devient dominant pour les vitesses voisines de 300 km/h.

Les graphes ne montrent plus d'amplification progressive des oscillations, suivie d'une décroissance sinusoïdale amortie. La valeur maximale de l'accé-

dans l'axe de la voie circulée, sous la poutre principale la plus proche, et dans l'axe du tablier. On a constaté que :

- Sous la poutre latérale, l'accélération maximale est inférieure de 20 à 40 % à la valeur mesurée sous la voie ;
- Dans l'axe du tablier, l'accélération maximale est égale, voire supérieure de 5 à 10 % à la valeur mesurée sous la voie circulée.

COMPARAISON DES MESURES AUX CALCULS

On a fait passer la rame d'essai sur les modèles de calcul utilisés par CCS lors du contrôle externe des études. Les résultats de ces calculs concordent avec les mesures (tableau 2).

Les graphes fournis par les calculs et les enregistrements retraçant l'évolution de la flèche en fonction du temps ont tout à fait la même allure ; ils ne diffèrent que par l'amplitude des pics.

CONCLUSION

L'architecture originale du viaduc de la Savoureuse lui confère une sensibilité particulière aux actions sismiques et ferroviaires. De plus, l'introduction de la spécification européenne d'intéropérabilité a notablement durci les exigences relatives au comportement dynamique. Le respect des critères de sécurité spécifiques aux ponts-rails en a été d'autant plus ardu.

En dépit de sa singularité, on peut tirer de cet ouvrage des enseignements de portée générale :

Malgré une forte consommation d'acier, la structure transversale composée d'une dalle mince en poutrelles enrobées reposant sur des pièces de pont hautes et rapprochées présente de nombreux avantages : légèreté, rigidité, simplicité et souplesse d'exécution. Ainsi, on a pu bétonner avant de lancer le tablier les zones situées à

l'aplomb des voies franchies (figure 10). L'association du béton et de l'acier dans les poutres principales du tablier a permis d'améliorer le comportement dynamique et de simplifier la charpente. Elle ouvre de nouvelles perspectives aux structures de type RAPL.

Les méthodes de construction des structures métalliques ont montré une

nouvelle fois leur efficacité : Malgré les difficultés (courbure du tracé et du profil en long, encombrement et poids des pièces, éloignement des aires de montage des différents composants, inaccessibilité des nœuds d'assemblage...), le tablier a pu être soudé sur les bécilles avec une précision millimétrique. □

TABLEAU 2 : COMPARAISON DES MESURES AUX CALCULS

À 346 km/h sur la travée de rive Ouest						
	Calcul		Mesure			
Accélération maximale	2,56 m/s ²		2,64 m/s ²			
Flèche maximale	4,6 mm		7,2 mm			
À 160 km/h à l'extrémité Est du viaduc						
	Dernière travée		Dernier tétapode		Tronçon d'extrémité	
	Calcul	Mesure	Calcul	Mesure	Calcul	Mesure
Accélération maximale	1,2 m/s ²	0,9 m/s ²	0,7 m/s ²	0,8 m/s ²	0,6 m/s ²	0,6 m/s ²
Flèche maximale	6,6 mm	6,1 mm	1,0 mm	-	0,9 mm	0,3 mm

LES INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Réseau Ferré de France

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : Groupe Setec

MAÎTRE D'ŒUVRE DE CONCEPTION (Y COMPRIS VISA) : Egis JMI – Wilkinson Eyre Architects – Alfred Peter paysagiste

GROUPEMENT D'ENTREPRISES

CHARPENTE MÉTALLIQUE : Eiffage Construction Métallique (mandataire)

GÉNIE CIVIL : Eiffage T.P.

TERRASSEMENTS : Société Forézienne d'Entreprises

FONDATIONS : SPIE Fondations

SOUS-TRAITANTS ET FOURNISSEURS

ÉTUDES D'EXÉCUTION : SNCF IGOA – Coredia – Fondasol

CONTRÔLE EXTERNE DES ÉTUDES : CCS – BIEP

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : SA-CDF

BÉTON PRÊT À L'EMPLOI : Holcim

BARRES DE PRÉCONTRAINTÉ : Etic – La GTM

APPAREILS D'APPUI : Maurer

PONT PROVISOIRE ET BATARDEAUX : Leduc

PROTECTION ANTI-CORROSION DE LA CHARPENTE : Borifer

ÉTANCHÉITÉ : Eurovia

JOINTS GARDE-BALLAST : Etic

COFFRAGES DES APPUIS : Metal Azoia – CMF

ESSAIS DYNAMIQUES : Inexia (Systra depuis le 1/7/12) – SNCF Ingénierie (département Études Voie)

ABSTRACT

LA SAVOUREUSE VIADUCT

C. CEZARD, EGIS JMI - Q. HAESSLER, SETEC - P. SCHMITT, SNCF IGOA - R. SCHAEFFER, EIFFAGE - V. CRESPIN, EIFFAGE

The viaduct across La Savoureuse Valley near Belfort has exceptional architectural features. A simple structure, equally attractive from every side, was adopted, with regular 66-metre spans, a steel deck with lateral girders and identical piers along the entire length of the viaduct. The piers, consisting of four inclined struts converging towards a concrete base, are the project's most original feature. They do, however, make the structure more sensitive to the effects of earthquakes and rail traffic. To improve its dynamic behaviour, the transverse structure consists of a thin slab supported by high cross beams set close together. At each end of the spans, the steel girders have a concrete lining which increases the viaduct's rigidity and strength. The deck was launched by temporarily welding the spans together. Assembling the girders to the inclined struts and implementing the final static diagram were long and complex operations, requiring high precision. Dynamic tests were conducted on the viaduct to confirm the design calculations. □

EL VIADUCTO DEL RÍO LA SAVOUREUSE

C. CEZARD, EGIS JMI - Q. HAESSLER, SETEC - P. SCHMITT, SNCF IGOA - R. SCHAEFFER, EIFFAGE - V. CRESPIN, EIFFAGE

Situado a las puertas de Belfort, el largo viaducto que cruza el valle de la Savoureuse se ha sometido a tratamiento arquitectónico especial. Se optó por una estructura sencilla, independientemente del punto de vista: Tramos regulares de 66 m, tablero metálico con vigas laterales y pilares con el mismo aspecto. Estos pilares, formados por cuatro montantes inclinados que convergen en una base de hormigón, constituyen la originalidad del proyecto. En cambio, hacen que la estructura sea sensible a las acciones sísmicas y ferroviarias. Para mejorar su comportamiento dinámico, su estructura transversal está constituida por una losa fina soportada por piezas de puente altas y cercanas entre sí. Las vigas están revestidas en el extremo de los tramos por un velo de hormigón que contribuye a la rigidez y la resistencia. El tablero se ha lanzado soldando temporalmente los tramos entre sí. El ensamblaje de las vigas en los montantes y la aplicación del esquema estático definitivo fueron operaciones largas y delicadas, que requerían una gran precisión. El viaducto se sometió a pruebas dinámicas, que confirmaron los cálculos de ejecución. □



Une glisse parfaite

NOUVEAU: Des joints de chaussée silencieux!



Joint de dilatation MAURER XW1

Des joints de chaussée monoprofilés à faible émission sonore.

- Ondulés pour réduire le bruit, améliorer le confort de conduite et permettre une pose juste affleurante
- Jusqu'à 100 mm de longueur dilatable
- Sans entretien, autonettoyables
- Etanches grâce à leur profilé monobloc breveté
- Résistants à la corrosion: Modèle hybride sur demande
- Economiques: Pose simple et absence d'entretien
- Protégés contre les dommages causés par les chasse-neige
- Contrôlés selon les TL/TP FÜ

Notre offre de produits

- Joints de dilatation MAURER
- Appuis structuraux MAURER
- Dispositifs parasismiques MAURER
- Amortisseurs MAURER
- Monitoring MAURER



LES ÉQUIPEMENTS FERROVIAIRES. DE LA CONCEPTION À LA PASSATION DES MARCHÉS

AUTEURS : MICHEL PRÉ, LUDOVIC ENGEL, ÉRIC DESSEAUX, ALAIN MARCOURT, FRANÇOIS PIEDNOIR (GROUPEMENT SETEC-EGIS RAIL)

LA PERFORMANCE TECHNIQUE CONFORME AUX DERNIÈRES SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES D'INTEROPÉRABILITÉ, D'UNE PART, ET L'OPTIMISATION DES MARCHÉS ET DE L'ORGANISATION DES TRAVAUX, D'AUTRE PART, ONT ÉTÉ LES DEUX PRÉOCCUPATIONS CENTRALES DU GROUPEMENT DES MAÎTRES D'ŒUVRE SETEC ET EGIS RAIL POUR LA RÉALISATION DES ÉTUDES DU PROJET ET POUR LA PASSATION DES MARCHÉS POUR LE COMPTE DE RFF (RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE).
DOMAINES D'ÉQUIPEMENTS FERROVIAIRES CONCERNÉS : CATÉNAIRE, VOIE FERRÉE, SIGNALISATION, ALIMENTATION ÉLECTRIQUE, TÉLÉCOMMUNICATIONS.



1 © ANNE-CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

À la fin de l'année 2005, le groupement de Maitrise d'œuvre EF2R constitués de SETEC et d'EGIS RAIL reçoit de Réseau Ferré de France (RFF) la notification pour réaliser les études relatives à l'ensemble des équipements ferroviaires en complément du génie civil dans le cadre de la Branche

Est du projet de la future Ligne à Grande Vitesse Rhin Rhône (LGVR). L'enjeu est de taille : Les sous-systèmes d'une LGV apte aux circulations à 350 km.h⁻¹ vont être pris en charge dès la phase projet (PRO) par une ingénierie différente de l'ingénierie historique et ce pour la première fois sur le Réseau Ferré national Français.

En 2007, après une réflexion et une analyse partagée avec RFF, une stratégie d'allotissement des marchés est élaborée pour lancer l'établissement des dossiers de consultations. Le premier engagement vis-à-vis de RFF était que la LGVR présenterait un niveau de performance et de sécurité au moins équivalent à celui de la der-

nière LGV construite (LGV Est première phase). Le second était d'apporter une réelle plus-value à l'optimisation des marchés et de l'organisation des travaux. C'est principalement sur cet objectif que RFF voulait mesurer l'intérêt de recourir à une maîtrise d'œuvre privée.

PHASE D'ÉTUDE PROJET

Cette phase va alors durer trois années pendant lesquelles une organisation spécifique est mise en place pour répondre à l'ensemble des contraintes exigées par un tel projet.

Dans un premier temps, ce sont les notes d'analyses et d'hypothèses réalisées sur la base des études d'Avant-Projet qui permettent la mise au point des données d'entrée entre RFF et la MOE EF2R. Cette phase est décisive pour la réalisation de l'ensemble des études de conception des notes techniques générales aux plans d'implantation, de géométrie, d'armement et de piquetage, afin que ces documents ne subissent pas sur les 140 km de plateforme des modifications d'études intempestives nuisibles à la cohérence d'ensemble du projet.

C'est seulement après cette phase importante de mise au point de quelques mois que se sont enchaînées les opérations de définitions et justifications techniques, d'identification des interfaces, de piquetage, de simulation, de gestion d'interfaces etc.

L'ensemble de la documentation technique réalisée au cours de ces études de conception a été réalisé dans le respect d'un contexte réglementaire imposé et d'un processus très strict.

LA CATÉNAIRE

Conformité à la STI Energie

Les études de conception caténaire doivent appliquer les règles issues des différentes normes européennes, référentiels destinés aux installations fixes de traction électrique et à la Spécification Technique d'Interopérabilité (STI) sous-système Energie notifiées au contrat. Cette dernière définit un certain nombre de critères à respecter et à justifier dès la phase projet.

La mise en œuvre d'une caténaire STI impose une géométrie appliquée au fil de contact devant respecter en particulier des critères de hauteur de contact (5,08 m pour ce projet de LGV) et de pentes de fil de contact (0% pour les zones à $V > 250 \text{ km.h}^{-1}$). Concernant ces mêmes exigences géométriques, le débattement latéral maximal autorisé par la STI sous l'effet du vent est de 400 mm.

C'est par la justification de ce critère que les équipes de la MOE EF2R ont optimisé les portées maximales affectées entre chaque support de caténaire. Ces portées maximales ont été intégrées au cahier des charges transmis aux entreprises dans le dossier de consultation.

Modification de pendulage

La prise en compte de la STI Energie de 2002 a nécessité une reprise du pendulage des anciennes LGV. Pour une question d'élasticité et pour ne pas soumettre à dérogation la future LGV Rhin Rhône sur le sujet, la MOE EF2R a défini une nouvelle répartition du pendulage entre le porteur et le fil de contact. Cette étude spécifique a conduit à intégrer le premier pendule d'une portée à une distance de 5,00 m de l'équipement au lieu de 4,50 m pour les anciennes LGV.

Malgré la simplification de ce critère d'élasticité dans la nouvelle STI Energie parue en 2008, celle-ci ne remettra pas en cause cette nouvelle conception de la MOE EF2R. Les essais dynamiques montreront que l'élasticité de la caténaire ainsi pendulée est excellente.

LA VOIE FERRÉE

Les composants de la voie ferrée sont assez peu nombreux et l'optimisation de l'armement se révélait a priori peu propice à l'innovation. Néanmoins, après une étude détaillée et comparative réalisée en phase Projet, le choix a été fait d'équiper l'ensemble de la LGV Rhin Rhône de supports béton monoblocs, contrairement aux LGV précédentes équipées dans leur quasi-totalité de traverses béton bi blocs.

L'analyse technico-économique menée a concerné l'ensemble des acteurs de la voie ferrée :

→ Les fabricants pour les aspects techniques (caractéristiques matières et géométriques, vieillissement, conditions de chargement) ;

→ Le fournisseur (Infrarail) pour les aspects logistique, pré-stockage et coût ;

→ Les constructeurs de voie ferrée pour les impacts sur la méthodologie de pose liée à la différence de morphologie des traverses (notamment la pose de traverses béton monoblocs nécessite la mise en œuvre d'un préballastage préalable pour éviter que les supports ne soient en porte à faux sur la plateforme) ;

→ Le GID (Gestionnaire de l'Infrastructure Délégué) pour les conséquences sur la maintenance de la voie ;

→ RFF pour les impacts sur le planning et les coûts qu'un tel choix induisait.

Malgré le faible recul qui ne favorisait pas le retour d'expérience, les conclusions de l'étude ont mis en évidence les avantages suivants :

→ Absence d'oxydation des entretoises et de risque de rupture ;

→ Pas de déformation des entretoises

à la pose ayant des conséquences sur la géométrie de la voie ;

→ Meilleure répartition des charges qui limite les défauts de nivellement, les reprises de bourrage/dressage et de relevage et les avaries à la plate-forme. D'autre part, les traverses monoblocs sont beaucoup moins consommatrices d'aciers (5 kg contre 24 kg sur les bi blocs).

LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

La MOE EF2R a réalisé les études de conception du circuit de retour courant traction et des mises à la terre en établissant le programme de RCT et le schéma général du circuit de retour courant traction. Ce document de base, géré en cohérence avec les domaines en interface, voie, caténaire et alimentation, sera suivi et amendé au fil du chantier par EF2R. Il sera remis en entrant avec le DCE.

Les études de niveau PRO (plans techniques) fournies par le MOA n'étant pas suffisamment avancées pour permettre la passation des marchés de travaux, un premier marché d'études complémentaires a été passé aux industriels sous MOE EF2R : Les pré-études d'exécution qui ont permis aux industriels de dimensionner et de chiffrer précisément leurs prestations. EF2R a dû également réaliser, pour lancer les études d'exécution, des pièces de plan technique notamment celles définissant les commutateurs de protection et de ZEP et les dispositifs d'annonce.

L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Les études d'alimentation de traction ont été basées sur un avant-projet fourni par RFF.

La complexité de ces études réside dans le fait que la sous-station de Besançon, un des deux principaux points d'alimentation de la LGV, se trouve à une dizaine de km de la LGV. Cette particularité avait été imaginée à l'origine par RFF afin d'économiser sur le coût de raccordement au Réseau de Transport d'Électricité (RTE) en utilisant une ancienne emprise ferroviaire entre Besançon et la LGV.

Cette situation particulière a conduit la MOE EF2R à revoir complètement le système d'alimentation électrique classique en intégrant toute la problématique du retour du courant de traction, de la mise à la terre, de la protection des câbles bifilaires et de Compatibilité Électromagnétique (CEM), tout ceci en interface avec les autres maîtres d'œuvres chargés de réaliser la liaison entre la sous-station et la LGV.

Ainsi, en s'appuyant sur des experts reconnus, la MOE EF2R a acquis une expertise pointue dans ces domaines stratégiques, à mi-chemin entre les études traction et signalisation.

Cela s'est traduit par l'implantation de 3 nouveaux postes d'injection atypiques (également appelés postes de sous-stations) destinés à accueillir les équipements déportés de contrôle-commande, de protection et de maintenance nécessaire à l'exploitation de la sous-station et des câbles de liaison. À Héricourt, l'autre sous-station de la ligne, la MOE EF2R a également dû prendre en compte les études d'alimentation de la ligne classique Belfort-Dôle depuis la sous-station LGV et prévoir les mesures conservatoires adaptées.

EF2R a réalisé les études de niveau PRO des installations d'énergie HT/BT permettant d'alimenter les différents équipements :

→ Équipements ferroviaires en poste (SEI, Baies Télécoms, Armoire de téléconduite) ;

→ Équipements ferroviaires en ligne (moteur et réchauffage des aiguilles, éclairage des zones de travaux, détecteurs de vents latéraux, détecteurs de boîtes chaudes) ;

→ Équipements de sécurité du tunnel de Chavanne (éclairage, prises pompiers). En parallèle aux études d'énergie, EF2R a dimensionné les points d'alimentation ERDF et géré les interfaces avec les différents concessionnaires, et cela jusqu'à la mise en service des sites.

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Les études de télécommunications et de sûreté des installations ont été basées sur un avant-projet fourni par RFF.

La MOE EF2R a réalisé les études de niveau PRO des systèmes de télécommunications comprenant notamment :

→ Le réseau radio GSM-Rail en double couverture dimensionné pour l'ERTMS et prenant en compte dès cette phase d'étude l'intégration et la mutualisation des sites avec les opérateurs tiers de téléphonie mobile ;

→ Les réseaux de transmission filaires (réseau de transport SDH et réseaux locaux PDH) ;

→ La téléphonie de maintenance et la téléphonie ferroviaire (filaire et GSM-R) ;

→ Les systèmes de sûreté (contrôle accès, intrusion, vidéosurveillance) ;

→ Le réseau radio de sécurité civile (INPT) dans le tunnel de Chavanne ;

→ Le Système Informatique d'Aide à la Maintenance. ▷

Les systèmes de télécommunications sont au cœur des équipements ferroviaires et leurs permettent ainsi de communiquer entre eux et avec les postes de supervision centraux (Poste de Commande à Distance PCD et Centrale Sous-Station CSS). La MOE EF2R a donc été amenée à gérer ces interfaces internes et externes.

PHASE DE PASSATION DES MARCHÉS

LA STRATÉGIE D'ACHAT : PÉRIMÈTRE DES MARCHÉS

Les travaux de construction de la voie, de la caténaire et de la base travaux (VCBT) ont été regroupés dans un seul et même marché. En effet, les travaux de construction de la voie et la caténaire sont les seules activités nécessitant la mise en place de moyens ferroviaires lourds (base travaux, trains travaux) et une organisation dédiée (réglementation temporaire d'exploitation/sécurité). Les regrouper au sein d'un même marché et confier au groupement attributaire la responsabilité de la gestion de la coordination des travaux, a permis de limiter les interfaces et donc les risques de conflits et de retards.

La MOE a par ailleurs gardé la fonction de pilotage technique, de planification générale, d'arbitrage, et de maîtrise de la qualité.

L'organisation dédiée mise en place par le groupement de constructeurs a consisté en :

→ Les études d'exécution et la construction d'une base travaux sur une plate-forme mise à disposition par RFF et avec des constituants « prêts » par RFF, sur la base de l'étude réalisée en phase PRO par la MOE pour déterminer le dimensionnement prévisionnel des équipements nécessaires ;

→ La mise à disposition des moyens de traction nécessaires à la desserte des

trains travaux d'approvisionnement ;

→ La conception et la mise en application d'une réglementation d'exploitation/sécurité propre au chantier de construction et applicable par l'ensemble des intervenants, toutes activités confondues. Le fait que le constructeur ait été le concepteur de cette réglementation a largement facilité son application et a permis de limiter le nombre et la gravité des accidents du travail.

Pour la signalisation ferroviaire, la MOE EF2R se devait de définir une stratégie pour la réalisation des travaux.

Lors des réflexions sur la stratégie d'achat, et comme pour les autres marchés, la MOE EF2R a préconisé un marché comprenant l'ensemble des prestations qui pouvaient être soumises à la concurrence :

→ La partie interface et équipement en campagne de la signalisation ;

→ L'énergie basse tension ;

→ Les artères câblées.

L'ensemble des études d'exécution, la fourniture et les travaux de signalisation ont été incluses dans ce marché.

Les travaux d'alimentation traction, de télécommunication et de télésurveillance ont fait chacun l'objet d'un marché spécifique. Ces trois marchés comportaient l'ensemble des études d'exécution, la fourniture et les travaux relatifs à ces métiers.

CONTENU DES MARCHÉS

La livraison des matériaux a toujours constitué un point critique des chantiers de construction des LGV. En effet, la rupture d'approvisionnement d'un seul des constituants ralentit l'ensemble du chantier et peut, à très brève échéance, le stopper.

Pour limiter ce risque, les mesures suivantes ont été prises :

→ Pour la caténaire hormis le fil de

contact, la fourniture de tous les autres composants a été confiée au groupement d'entreprises attributaire du marché VCBT. Dans la mesure où l'entreprise était par ailleurs responsable de la construction de la base travaux, elle s'est fortement impliquée dans la définition du planning de livraison et donc des réceptions de matériels et acheminement, des besoins de stockage, moyens de manutention, mise en place de gardiennage.

→ Préciser à la fois dans le cadre d'une convention particulière de fournitures SNCF/RFF et dans le marché du constructeur les conditions de livraison par train des autres constituants (ballast, traverses, rails et appareils de voie). Les obligations réciproques des différents acteurs concernaient les cadences de livraison, les délais de restitutions de trains d'approvisionnement, les tempos de stationnement des rames sur la base.

Le contrôle de l'application des règles d'approvisionnement était assuré par la MOE. Cette contractualisation a permis d'obtenir un taux de fiabilité des approvisionnements de 98 % mesuré sur l'ensemble du chantier.

→ Organiser sous contrôle de la MOE le gardiennage du chantier.

Les chantiers de construction des LGV précédentes ont tous été frappés par des vols de cuivre parfois dans des proportions importantes (notamment plus de 20 kms de fil de contact caténaire volés sur la LGV Est) et ce, malgré la mise en place de mesures de protections par RFF.

En plus des coûts liés aux réparations et au remplacement des matériels volés, ces vols répétés sont source de désorganisation et génèrent des retards importants sur les chantiers.

Le principe retenu sur la LGV Rhin Rhône a été de partager entre l'en-

semble des acteurs la responsabilité du gardiennage. Chaque entreprise était responsable entre deux événements déclencheurs et sur un secteur donné, du gardiennage des installations. Exemple pour le groupement VCBT : entre le déroulage du fil de contact et sa mise sur pinces. En dehors de ces événements déclencheurs, le gardiennage était assuré soit par un autre groupement (signalisation), soit par RFF, la coordination de l'ensemble étant assurée par la MOE EF2R. Ce partage des responsabilités a permis d'éviter les actes de malveillance et aucun vol de câble n'a eu lieu pendant l'ensemble des travaux de construction.

Pour la signalisation, hormis les relais NS1, la fourniture de l'ensemble des produits, y compris les câbles, a été confiée aux industriels.

Pour les télécommunications, hormis les stations de base du GSM-R, les téléphones d'alarmes GSM-R et les équipements de transmission bas débit, la fourniture de l'ensemble des produits a également été confiée aux industriels.

Cette innovation est une première en France où les marchés sont traditionnellement segmentés en différents tronçons études et travaux et le matériel fourni par la SNCF. Cette approche s'est montrée payante, les groupements titulaires des marchés ont su assurer la fourniture des produits homologués à des coûts compétitifs et gérer efficacement leurs interfaces en interne. Le projet Rhin-Rhône a montré qu'EF2R était capable de prendre en charge la MOE en apportant des innovations sensibles concernant la stratégie d'achat notamment dans un domaine aussi sensible en matière de sécurité que celui de la signalisation ferroviaire.

La responsabilité des marchés allait jusqu'aux phases des essais dynamiques. □

ABSTRACT

RAIL EQUIPMENT: FROM DESIGN TO CONTRACT SIGNATURE

M. PRÉ, L. ENGEL, É. DESSEAUX, A. MARCOURT, F. PIEDNOIR (SETEC-EGIS RAIL)

Technical performance in accordance with the latest Interoperability Technical Specifications, on the one hand, and **optimisation of contracts and work organisation**, on the other hand, were the two main concerns of the Setec and Egis Rail project management consortium in performing project engineering and placing contracts on behalf of RFF (Réseau Ferré de France). The rail equipment fields in question were the catenary system, railway track, signalling, electric power supply and telecommunications. □

LOS EQUIPOS FERROVIARIOS: DESDE EL DISEÑO HASTA LA ADJUDICACIÓN DE LOS CONTRATOS

M. PRÉ, L. ENGEL, É. DESSEAUX, A. MARCOURT, F. PIEDNOIR (SETEC-EGIS RAIL)

La performance technique conforme aux dernières Spécifications Techniques d'Interopérabilité, La eficiencia técnica conforme a las últimas Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad, por una parte, y la optimización de los contratos y la organización de las obras, por otra, han sido las dos preocupaciones centrales de la agrupación de los contratistas Setec y Egis Rail para la realización de los estudios del proyecto y la adjudicación de los contratos por cuenta del Réseau Ferré de France. Los ámbitos de material ferroviario en cuestión son la catenaria, la vía férrea, la señalización, la alimentación eléctrica y las telecomunicaciones. □

LES ÉQUIPEMENTS FERROVIAIRES. DE LA RÉALISATION DES TRAVAUX AUX ESSAIS

AUTEURS : GILLES FOUQUÉ, YVES LAPRAY, JEAN-PIERRE NECTOUX, BENJAMIN PAQUET (GROUPEMENT SETEC-EGIS RAIL)

À PARTIR D'UNE SEULE BASE OPÉRATIONNELLE POUR 140 km DE LIGNE, LES TRAVAUX D'INSTALLATION ET ESSAIS DE L'ENSEMBLE DES ÉQUIPEMENTS FERROVIAIRES ONT ÉTÉ RÉALISÉS ENTRE JANVIER 2009 ET AOÛT 2011. UNE ORGANISATION DES TRAVAUX, INNOVANTE DANS CE DOMAINE, A FAIT APPEL À LA RESPONSABILISATION DES ENTREPRISES. IL EN EST RÉSULTÉ QUE LA QUALITÉ RECHERCHÉE A ÉTÉ ATTEINTE DANS LES DÉLAIS PRÉVUS DÈS L'ORIGINE DE L'OPÉRATION, ÉPROUVÉE PAR LES 60 000 KM PARCOURUS PAR LA RAME D'ESSAIS.



Mise en service en décembre 2011, la première phase de 140 km de Rhin-Rhône fut la première ligne à grande vitesse en France à bénéficier d'une réalisation sous maîtrise d'œuvre (MOE) privée, assurée par le groupement Setec et Egis (groupement de maîtrise d'œuvre appelé EF2R).

L'ORGANISATION DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LE PILOTAGE DES TRAVAUX

La MOE s'est organisée pour gérer les marchés suivants :

- VCBT (Voie, Caténaire, Base Travaux) et convention fournitures RFF/SNCF ;
- Bâtiments Techniques ;
- Signalisation, Énergie, Artères câblées, notifié en août 2008 ;
- Alimentation traction ;
- Télécom ;
- Détecteurs de vents latéraux ;
- Gardiennage ;
- Finitions ;
- Divers marché d'ATCE (Assistance Technique au Contrôle extérieur).

Un mode de fonctionnement innovant

2- Chariot de mesure ici sur la TJS de la base maintenance de Geneuille.

3- Contrôle extérieur caténaire/ mise en station du scan 3D.

2- Measuring carriage, here on the «TJS» device at Geneuille maintenance base.

3- External inspection of the catenary system/3D scanner stationing.

a été mis en œuvre sur le projet de réalisation d'une ligne LGV :

- Responsabilisation des entreprises à tous les niveaux de la construction, y compris pour les règles de sécurité des circulations ferroviaires ;
- Fonctionnement en mode assurance qualité ;
- Établissement des procédures et

des PV pour toutes les étapes de la construction et des essais ;

→ Établissement des dossiers DOE. L'organisation du groupement de maîtrise d'œuvre EF2R se décline de la façon suivante :

→ Des cellules de 2 à 5 personnes organisées autour d'un Ingénieur Responsable Marché (IRM), basées sur site et chargées du suivi contractuel, de la validation des factures et du suivi des études, travaux et essais :

- une cellule « Voie, caténaires et base travaux » ;
- une cellule « Signalisation, Énergie bâtiments techniques » ;
- une cellule Alim traction ;
- une cellule Télécom ;
- une cellule Divers : DVL, Finitions, gardiennage ;
- une cellule d'appui aux essais chargée notamment d'un suivi unique des réserves de l'ensemble du chantier sur toute la durée de l'opération.

→ Des cellules techniques spécialisées par métier, en appui à l'IRM et chargées de préparer les visas des livrables études. Les cellules en charge des visas

et appui technique, situées au siège, ne sont intervenues que ponctuellement ;

- Une cellule d'appui marché contrat basée sur site ;
- Une cellule d'appui OPC basée sur site ;
- Une cellule d'appui Qualité-Sécurité-Environnement basée sur site ;
- Une cellule d'appui GED-DOE basée sur site.

Afin de générer des économies d'échelle sur le chantier, le personnel de suivi de chantier a été optimisé sans impacter pour autant la qualité des ouvrages exécutés grâce à :

→ La mise en place de plans de surveillance et de contrôle MOE ciblés sur les tâches impactantes et/ou dimensionnantes du chantier ;

→ Une exigence forte vis-à-vis des entreprises relative au contrôle intérieur, à la définition des points d'arrêt lors de l'établissement de leurs plans de contrôle ;

→ La mise en œuvre de marché d'assistance technique aux contrôles extérieurs travaux ciblés : contrôle de la géométrie et de la qualité d'installation ▷

de la caténaire, études d'exécution de signalisation, règles de pose et géométrie de la voie, topographie, contrôle béton.

Cette organisation concentrée a permis une excellente réactivité face aux nombreuses modifications de projet à gérer pendant la phase REA, tout en maîtrisant les coûts, les délais et la qualité.

LES CELLULES TECHNIQUES

Elles ont été mises en place pour viser les procédures et méthodes de construction, les spécifications techniques et les plans d'exécutions nécessaires à la construction des ouvrages établis par les titulaires des marchés. Cette démarche a permis de vérifier leur conformité :

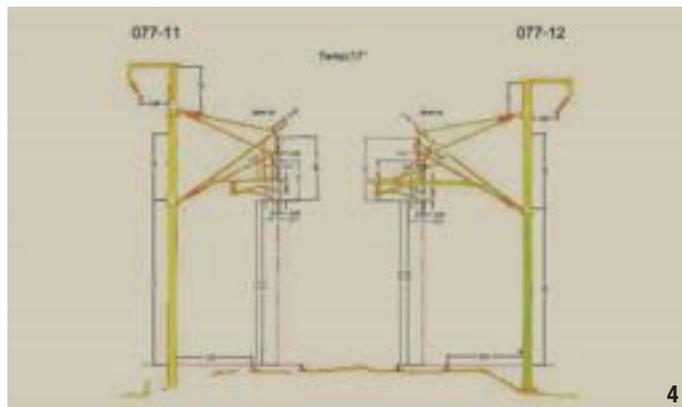
- Aux marchés ;
- Aux référentiels normatifs ;
- Aux spécifications techniques d'interopérabilité (STI) selon la directive 96/48/CE, (« Contrôle Commande et Signalisation », « Énergie » et « Infrastructure ») ;
- Aux procédures et plans de contrôle essais établis par le MOE.

LA RÉALISATION DES TRAVAUX

La réalisation des travaux d'équipements ferroviaires a nécessité au préalable la construction sur le site de Villersexel (70), d'une base travaux située au PK 98 de la future ligne. Cette base est constituée d'un ensemble d'installations permettant de :

- Recevoir (par route ou par fer) et stocker l'ensemble des matériels nécessaires à la construction ;
 - Former, trier, charger l'ensemble des trains travaux nécessaires à l'approvisionnement du chantier ;
 - Assurer l'hébergement des personnes travaillant sur le chantier (en partie) ;
 - Assurer la formation des personnels ;
 - Mettre à disposition, sur un même site, des bureaux pour l'ensemble des intervenants (entreprises de travaux, MOE, MOA, ATCE).
- Cette base travaux, d'une surface de 44 hectares a été raccordée au réseau ferré existant par la ligne de Lure à Villersexel (ligne à voie unique remise en service pour l'occasion), véritable cordon ombilical qui a permis d'alimenter le chantier pour permettre la pose de 1 100 m de voie simple par jour ce qui représente notamment 2 000 traverses béton et 5 à 6 rames de 1 000 tonnes de ballast/jour.

Les travaux d'installation des équipe-



ments ferroviaires se sont déroulés au fur et à mesure de la libération de secteurs géographiques par les entreprises de Génie Civil. Ces libérations de site se sont succédées par tronçons consécutifs de 10 km environ, à raison d'un tronçon par mois.

L'ordre de réalisation des travaux a été le suivant :

Travaux « linéaires » :

- Réalisation des artères câblées, traversées sous voie et déroulage des câbles ;
- Fouille, bétonnage et matage des supports caténaires ;
- Pose de voie auxiliaire (panneaux de voie de 18 m équipés de traverse bois) ;
- Déchargement de LRS sur les 2 voies et pré-ballastage de la voie contiguë ;
- Pose des voies 1 et 2, et relevage ;
- Pose des appareils de voie ;
- Déroulage caténaire ;
- Mise à niveau définitive des voies, libération des LRS et incorporation des appareils de voie ;
- Réglages définitifs de la caténaire ;
- Travaux de finition (repérage des points caractéristiques de géométrie des voies, plates-formes rail/route destinées à l'enraillement des engins maintenance, finitions sur quais, rétablissement des chemins d'accès, etc.).

Travaux « ponctuels » :

- En parallèle des travaux linéaires précédemment cités, les travaux suivants ont été réalisés :
- Construction des installations d'alimentation traction (sous stations et postes traction en ligne) ;
- Construction des installations Télécom (mâts GSMR) ;
- Constructions des bâtiments de service ;
- Installations d'énergie ;
- Mises en œuvre des systèmes d'enclenchement intégré - détecteurs de boîtes chaudes.

4- Contrôle extérieur caténaire/ résultat de scan et vérification de la géométrie des armements caténaires avec le logiciel AUTOCAD.

4- External inspection of the catenary system/ result of the scan and verification of the catenary system configuration geometry with AUTOCAD software.

L'ensemble de ces travaux s'est déroulé de janvier 2009 à avril 2011, pour respecter le rendement moyen de pose de voie imposé de 1 100 ml/jour de voie simple. La durée moyenne de réalisation de l'ensemble des travaux sur un secteur de 10 km de voie courante était d'environ 10 mois (12 mois sur une gare).

LES CONTRÔLES LES CONTRÔLES QUALITÉ DES FOURNITURES

Une convention a été mise en place pour les fournitures RFF et SNCF ; les matériaux et matériels :

- L'ensemble des matériaux constitutifs de la voie : traverses (500 000 unités), ballast (1,3 million de tonnes), rail (600 km ou 36 000 tonnes) et appareils de voie et de dilatation (100 unités dont 25 de 170 m de longueur) ;
- Le fil caténaire ;
- Les relais signalisations.

La MOE a été chargée du suivi qualitatif et quantitatif de ces livraisons. Les dossiers de référence de chaque fournisseur et les PV d'Essais Usines ont été remis par SNCF-INFRA-RAIL à la MOE. Concernant les autres matériaux,

fournis par les entreprises chargées des travaux ; la MOE a demandé aux entreprises de lui remettre un dossier de références pour chacun des fournisseurs de matériels, en développant les points suivants :

- Un PAQ ;
- Les certificats matières ;
- Les modes opératoires de fabrication ;
- Les normes ou spécifications techniques appliquées lors de la production ;
- Les contrôles de production lors de la réception-usine ;
- Les différents essais réalisés et leurs résultats (fatigue, vieillissement, résistance...) ;
- Les certificats de conformité ;
- Les attestations d'homologation de la SNCF.

Suite à la validation de ces fournisseurs (par visa des dossiers de référence), la MOE a participé aux réceptions usines de certains matériels identifiés à risque. Cette identification s'est faite selon les critères suivants :

- Matériaux d'une nouvelle conception ;
- Fournisseurs non référencés par SNCF-GID ;
- Sites de production non homologués par SNCF, ou en cours d'homologation par la SNCF ;
- Matériaux dont la défaillance aurait des conséquences sur la sécurité des circulations ou du personnel et sur l'exploitation de la ligne.

Une fois les fournisseurs référencés, RFF et la SNCF ont pu engager un processus d'homologation pour l'ensemble des matériels non encore homologués par le GID.

LE CONTRÔLE DES TRAVAUX EN LIGNE

Contrôles exercés sur la voie :

Dans le cadre des levées des points d'arrêt (avant ballastage) des appareils de voie et pour optimiser les moyens en personnel lors des contrôles des paramètres géométriques, (gauches, écartement, cotes fonctionnelles de sécurité), nous nous sommes équipés d'un chariot de mesure à enregistrement permettant de vérifier en tout point les valeurs des cotes prescrites par les référentiels.

Topographie :

Les points suivants ont été contrôlés par :

- La position des artères câbles, des bâtiments et des quais ;
- La vérification des gabarits des ouvrages d'art ;

→ La position des supports caténaires et la position en x, y et z du système de référence pour la géométrie de la voie (goujons fixés aux supports caténaires) ;

→ La position de la voie à la pose, en phase intermédiaire de relevage ;

→ La position finale (en x, y et z) de la voie (référence et point « 0 » pour la maintenance future) ;

→ Le montage des appareils de voie : position de plusieurs supports « intermédiaires ». Ces supports une fois implantés ont servi de référence pour un contrôle au décimètre de la position des autres supports. Lors des contrôles des grands appareils, cela a permis de s'affranchir des problèmes de variations de lectures dues notamment aux écarts de températures entre montage et contrôle ;

→ L'implantation des points caractéristiques des appareils de voie (pointe de cœur, JIC, etc.) ;

→ L'implantation des équipements de signalisation installés en voie (DBC, JIC) ;

Concernant la vérification de la géométrie de la caténaire :

Afin d'optimiser les moyens humains et matériels, la MOE a vérifié la conformité des installations par rapport aux plans d'exécutions, grâce à des campagnes de scan 3D. Après le traitement des données, un rapport d'analyse a indiqué les éventuelles actions correctives à mettre en œuvre sur les installations en ligne.

LES ESSAIS

Les essais ont pour but de mettre graduellement en fonctionnement tous les constituants, les sous-systèmes des différents domaines techniques, et enfin le système global de transport.

Ils doivent également démontrer au maître d'ouvrage et aux instances administratives concernées que les exigences issues des spécifications techniques d'interopérabilité et de sécurité permettant l'obtention de l'autorisation



5- Train arrêté dans le tunnel de Chavanne pour la réalisation des essais radio INPT.

5- Train stopped in Chavanne tunnel to perform INPT radio tests.

d'exploitation, sont toutes respectées. Les essais se sont déroulés en 6 phases.

La MOE a visé les procédures entreprises, suivi la réalisation des phases 1 à 3, et a participé aux essais de phase 3.2 et 4. Les phases 5 et 6 ont été prises en charge par le gestionnaire d'infrastructure délégué (GID).

Ces processus ont été déclinés par les différents constructeurs dans des procédures d'essais décrivant leur organisation, les résultats attendus, les moyens à mettre en place, et donnant le modèle de la fiche d'essais associée. Elles ont ensuite été visées par la MOE. Chaque essai a donné lieu à un rapport d'essai, visé par la MOE avant visa du procès-verbal de la phase en cours, et comprenant au minimum :

→ Les références des procédures et des cahiers d'essais,

→ Les formulaires (fiches d'essais) remplis,

→ Les actions à mener si les essais ne sont pas satisfaisants.

L'ensemble de la documentation relative aux essais a été intégré au Dossier de Sécurité.

Les 6 phases des essais ont été les suivantes :

Phase 1 : surveillance de la qualité et réception en usine des matériaux et constituants.

Phase 2 : vérifications et essais statiques par domaine technique réalisés en 3 temps : après travaux, après mise sous tension partielle (distribution électrique auxiliaire) exécutés par l'entrepreneur, et essais statiques exécutés par l'entrepreneur. Cette phase comprend notamment les essais statiques dont :

→ La tournée en hauteur après travaux caténaire la tournée voie,

→ Les enregistrements de la géométrie de la voie, le contrôle des rails par ultrasons,

→ Les essais d'isolement de la caténaire,

→ Etc.

Lors des essais statiques, la MOE était systématiquement présente pour :

→ Contrôler la qualité et l'exhaustivité des essais réalisés,

→ Valider les rapports d'essais.

Phase 3 : essais d'intégration des dif-

férents domaines techniques réalisés en 2 temps : essais d'intégration partielle entre sous-systèmes de marchés distincts et essais d'intégration fonctionnelle exécutés par les entreprises sous contrôle de l'intégrateur.

Les cellules techniques de la MOE ont été sollicitées à chaque détection de dysfonctionnement.

À la suite des essais des phases 1 à 3 et des différents contrôles documentaires ou techniques réalisés par la MOE, des rapports et fiches de contrôles spécifiques ont été produits. Cette documentation a été incluse dans le dossier de sécurité.

Phase 4 : essais dynamiques.

La MOE a réalisé l'analyse technique des défauts détectés lors des essais de montée en vitesse et a coordonné les reprises relatives à ces défauts.

Cette phase n'a suscité que très peu de reprises, et la rigueur et les compétences déployées par l'ensemble des acteurs a permis d'obtenir le respect des critères définis dans les référentiels dès la fin des essais de phase 3.

Phase 5 : pré-exploitation.

Phase 6 : mise en exploitation.

CONCLUSION

Pour la première fois, la MOE d'équipements ferroviaires a été confiée à un groupement de maîtrise d'œuvre privée.

Ce choix nous a contraint de développer des innovations sur les pratiques d'organisation de travaux, en responsabilisant davantage les entreprises. Cette nouvelle organisation concentrée a permis, d'une part, une meilleure gestion des interfaces techniques entre les différents marchés et, d'autre part, d'avoir une réactivité importante face aux modifications de projet, tout en assurant la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité.

Qualité et rigueur ont été reconnues et éprouvées lors des 11 semaines de tests dynamiques et des 60 000 km parcourus par la rame d'essai. □

ABSTRACT

RAIL EQUIPMENT: FROM WORK PERFORMANCE TO TESTING

G. FOUQUÉ, Y. LAPRAY, J.-P. NECTOUX, B. PAQUET (GROUPEMENT SETEC-EGIS RAIL)

From a single operating base for 140 km of line, the work of installation and testing of all the rail equipment was carried out between January 2009 and August 2011. The work organisation adopted, innovative in this field, involved empowerment of the contractors. As a result, the sought-after quality was achieved within the deadlines planned from the outset of the project, tried and tested by the 60,000 km travelled by the test train set. □

LOS MATERIALES FERROVIARIOS: DESDE LA REALIZACIÓN DE LAS OBRAS HASTA LOS ENSAYOS

G. FOUQUÉ, Y. LAPRAY, J.-P. NECTOUX, B. PAQUET (GROUPEMENT SETEC-EGIS RAIL)

Entre enero de 2009 y agosto de 2011 se realizaron las obras de instalación y ensayos del conjunto de los materiales ferroviarios, a partir de una sola base operativa para 140 km de línea. Una organización de los trabajos, innovadora en este ámbito, recurrió a la responsabilización de las empresas. Como resultado, se alcanzó la calidad buscada en los plazos previstos desde el principio de la operación, comprobada en los 60.000 km recorridos por el tren de pruebas. □



LA DEUXIEME PHASE DE LA LGV RHIN-RHÔNE BRANCHE EST

AUTEURS : LAURENT MAZZUCHELLI, DIRECTEUR DE PROJET, RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE - ALAIN TRUPHÉMUS, RESPONSABLE DE LA CONCEPTION DU TRONÇON A, SETEC - PIERRE-LOÏC VEYRON ET DENIS REYNARD, RESPONSABLES DE LA CONCEPTION DU TRONÇON C, SETEC

LA 2^e PHASE EST SUR DE BONS RAILS... AVEC DES EMPRISES MAÎTRISÉES, DES ÉTUDES BIEN AVANCÉES ET DES PROCÉDURES ENGAGÉES. CETTE 2^e PHASE CONSISTE À PROLONGER, À L'OUEST ET À L'EST, SUR UNE CINQUANTAINES DE KILOMÈTRES AU TOTAL, LA LIGNE MISE EN SERVICE LE 11 DÉCEMBRE 2011.

La 2^e phase de la LGV Rhin-Rhône Branche Est s'inscrit dans le même cadre réglementaire que la 1^{re} : celui du décret d'utilité publique datant de janvier 2002. L'objectif était d'achever les acquisitions foncières liées à la 2^e phase pour janvier 2012, date d'expiration de ce décret. Ces acquisitions permettent de maîtriser les emprises de façon à pouvoir lancer le chantier et finir ce maillon-clé de l'Europe à grande vitesse, qui est aussi la première LGV province-province.

Dans le cadre d'un protocole d'intention de financement signé en janvier 2012, les collectivités territoriales concernées (les Régions Alsace, Bourgogne et Franche-Comté) ont confirmé

leur engagement aux côtés de l'État et du maître d'ouvrage, Réseau Ferré de France pour le financement des études nécessaires à la définition des emprises à acquérir.

Ces études conduites par SETEC de 2009 à 2011 ont permis à RFF, par une concertation de proximité, par un inventaire environnemental et par des investigations topographiques et géologiques, d'avoir une connaissance détaillée des espaces à traverser pour ainsi définir le futur tracé, indispensable aux acquisitions foncières.

Mener à bien ces études et acquisitions dans le délai imparti a été un véritable défi. Pour y parvenir, RFF s'est appuyé sur le savoir-faire reconnu des équipes qui œuvrent depuis 2003 sur

1- Saut de Mouton de Villers-les-Pots (1^{re} phase de la LGV Rhin-Rhône branche Est).

1- Villers-les-Pots overpass (phase 1 of the Rhine-Rhone HSL, eastern branch).

le projet de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône. Le défi a été relevé ! Et toutes les emprises définies ont été sous maîtrise début 2012.

Les opérations d'archéologie préventive s'achèveront quant à elles en 2013.

Les procédures environnementales (dossier Loi sur l'eau, Installation Classée pour la Protection de l'Environnement, Commission Nationale pour la Protection de la Nature, défrichement) sont bien engagées, les dossiers de consultation des entreprises pour les travaux de génie civil et l'avant-projet détaillé (APD) des équipements ferroviaires, ainsi que les AVP des raccordements sont bouclés.

Mais, il ne s'agit pas uniquement que de technique, de méthodologie et de prise en compte anticipée des éventuelles contraintes ou d'ordonnancement des travaux.

2- Principe du raccordement extrait du SIF (Schéma des Installations Ferroviaires).

3- Franchissement de la Tille et de l'A39 par un pont-rail et un saut de mouton.

4- Viaduc de la Madeleine.

2- Connection schematic extracted from the «SIF» (rail installation diagram).

3- Crossing the Tille and the A39 via a rail bridge and an overpass.

4- La Madeleine viaduct.

Informar, aider à comprendre, être à l'écoute, dialoguer, tenir compte des remarques et trouver le juste équilibre sont les maîtres mots de la démarche ! Ils définissent ce qu'est la concertation et cette dernière est au cœur du projet, pour sa réussite.

EMBARQUEMENT POUR LA 2^e PHASE... ET SES ENJEUX TECHNIQUES

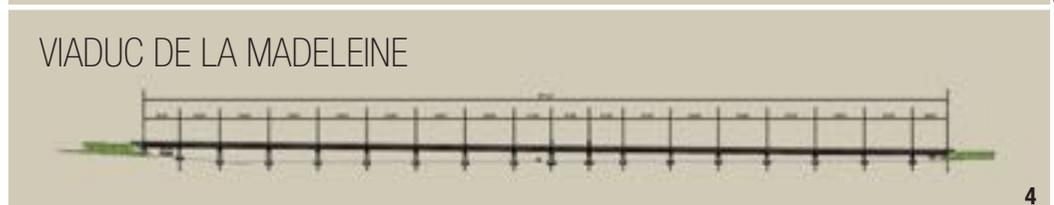
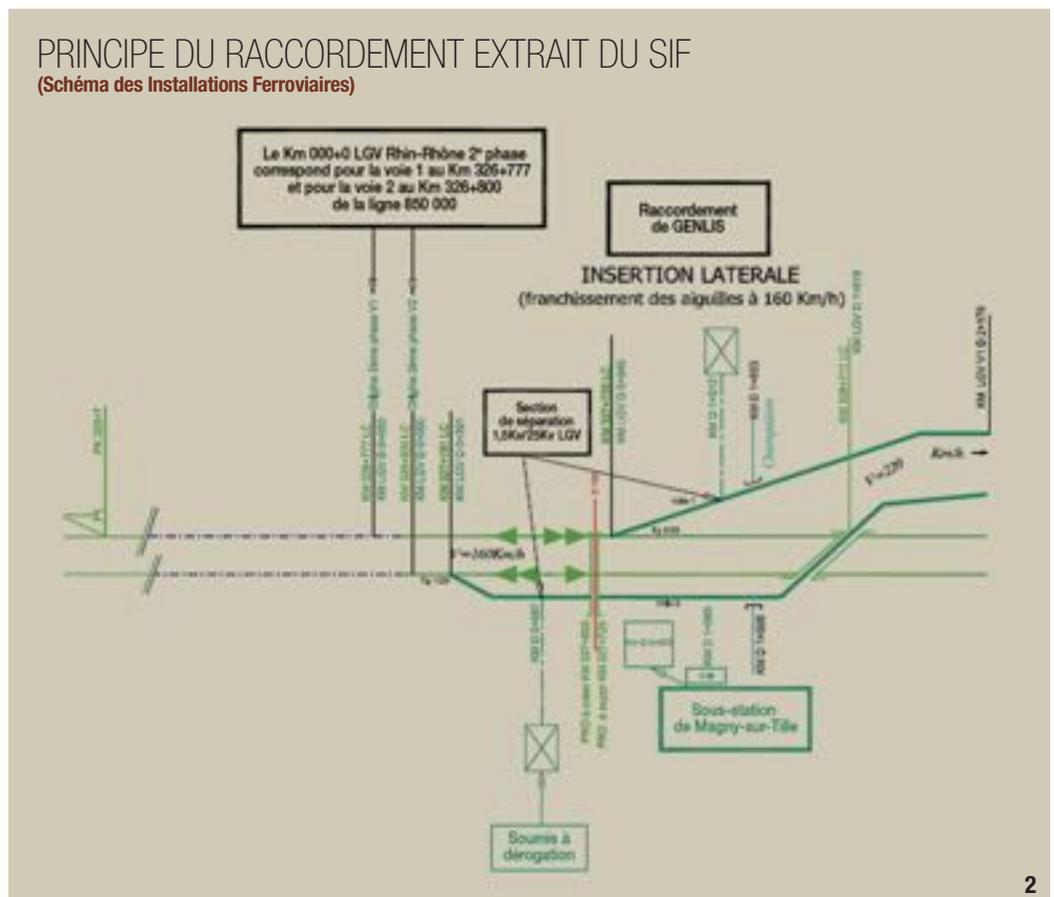
Longue de 50 kilomètres au total, la seconde phase de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône comporte un nombre important d'ouvrages complexes.

LE TRONÇON A

Sur les 15 kilomètres de la partie Ouest située en Côte-d'Or, entre Genlis et Villers-les-Pots, le projet traverse un secteur avec un relief peu marqué.

Le raccordement à la voie ferrée existante se fera de la même manière que celui réalisé lors de la 1^{re} phase : à niveau pour la voie 1 (sens Dijon-Mulhouse) et par un ouvrage mixte de type pont-rail saut de mouton pour la voie 2 (sens Mulhouse-Dijon), figures 1 & 2. Les voies existantes seront maintenues à leur emplacement.

Ensuite, la LGV va progressivement prendre de la hauteur pour lui permettre de franchir à Genlis l'autoroute A39, de manière à réserver le gabarit autoroutier



prescrit par APRR, le concessionnaire. Ce franchissement très biais est également couplé avec le passage au-dessus d'un cours d'eau, la Tille (figure 3). Cet ensemble d'ouvrages, d'une lon-

gueur de 220 mètres est composé ; du pont rail à ossature mixte de la Tille, de 36 mètres et du double cadre en béton armé de 184 mètres, pour le franchissement de l'A39.

Pour la définition de la méthodologie de réalisation de ce franchissement, une concertation très étroite a été menée auprès des services techniques et d'exploitation d'APRR.



© ARCHITECTES CHERON-LAVIGNE (AOA)

Dans ce secteur de Genlis, du fait du projet, le réseau routier départemental a dû être redessiné et 2 ponts supérieurs de l'A39 ne serviront plus. Ils seront donc démolis.

Concernant les terrassements, sur les 1 300 000 m³ de déblais calculés sur ce futur lot TOARC (Terrassement, ouvrages d'art, rétablissement des communications), 500 000 m³ seront réutilisés pour la réalisation de la plateforme ferroviaire. Ce réemploi en corps de remblais se fera essentiellement de part et d'autre des ouvrages de franchissement Tille-A39.

500 000 m³ devront être stockés en dépôts définitifs, qui seront restitués à l'agriculture. Ces zones de dépôts acquises au titre des emprises sont

prévues à l'Ouest du bois de Mon-dragon, où ils seront majoritairement extraits.

300 000 m³ de terre seront réemployées pour confectionner les modèles paysagés, ainsi que les quelques dispositifs Gefra.

Sur le tronçon A de la 2^e phase, les matériaux rocheux devront provenir de gisements extérieurs au projet. Le besoin global s'élève à plus d'un million de mètres cube (tableau 1).

TRONÇON C

À l'Est, les 35 kilomètres du projet entre Petit-Croix (90) et Lutterbach/Richwiller (68) traversent un territoire où la topographie est sensiblement plus accidentée que sur le tronçon A,

5- Viaduc de la Saint-Nicolas.

6- Viaduc de Soultzbach.

5- Saint-Nicolas viaduct.

6- Soultzbach viaduct.

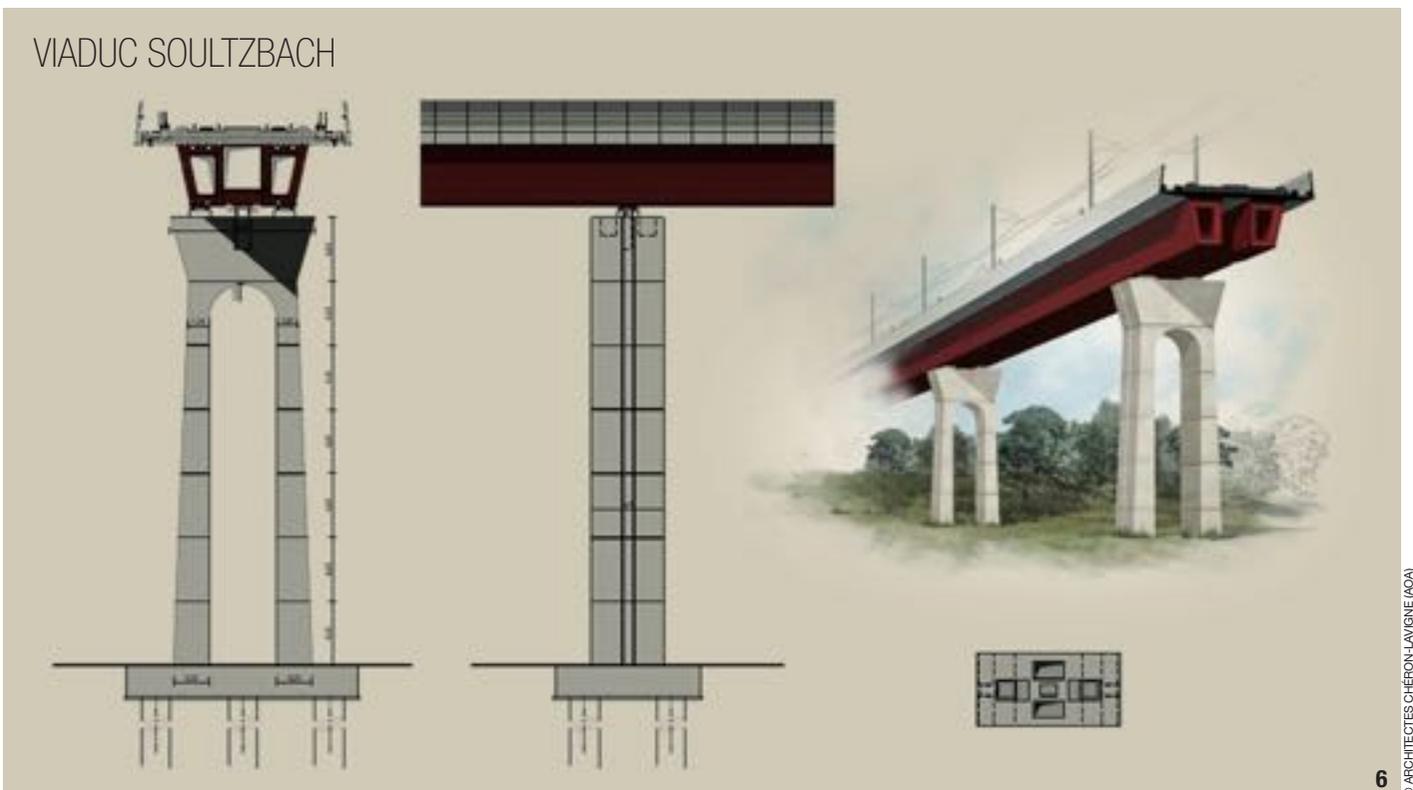
rapprochées importantes (routes et voies ferrées), sans oublier les 2 raccordements sur les voies existantes à Lutterbach et à Richwiller, ainsi que la prise en compte des changements de sens de circulation, car en Alsace les trains roulent à droite.

Dès le prolongement de la LGV à Petit-Croix, le projet de la 2^e phase commence par une série d'ouvrages, dont la construction restera délicate.

Le 1^{er} ouvrage permettra de passer au dessus de la courbe circulée du raccordement de Petit-Croix, le 2^e ouvrage au-dessus de la voie ferrée classique Belfort-Mulhouse et le 3^e, un viaduc bi-poutre de 877 mètres, franchira un cours d'eau, la Madeleine et sa plaine inondable, ainsi qu'une route départe-

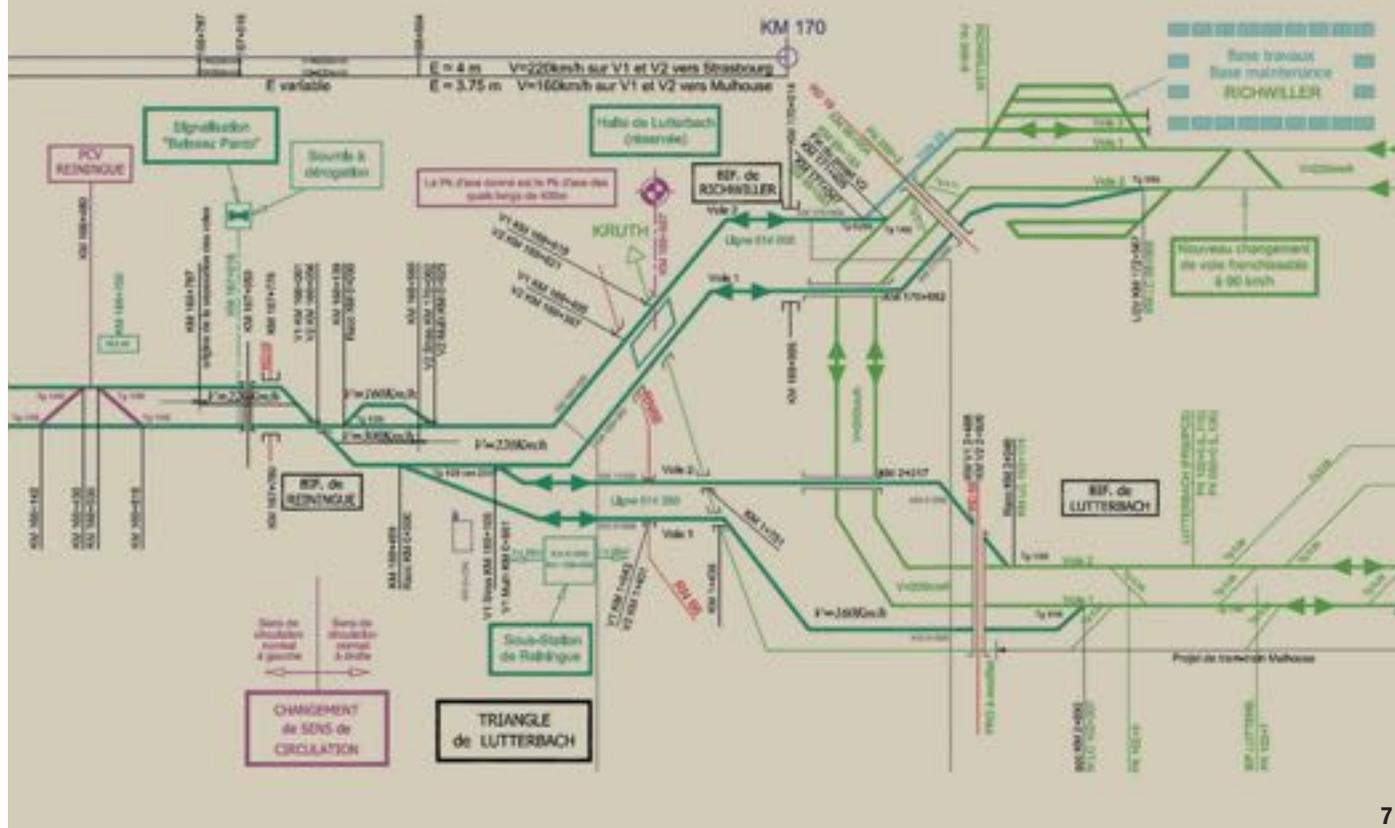
et qui présente plus de cours d'eau et quelques grandes vallées.

Plusieurs viaducs de 600 à 900 mètres de long seront nécessaires. De plus, le secteur urbain traversé, en arrivant vers Mulhouse, impose le franchissement très complexe d'infrastructures



© ARCHITECTES CHERON-LAVIGNE (AOA)

CROQUIS DU TRIANGLE DE LUTTERBACH



7- Croquis du triangle de Lutterbach.

7- Sketch of the Lutterbach triangle.

mentale (figure 4). Ensuite, le projet se prolonge sur plusieurs kilomètres dans des secteurs boisés et agricoles, en intersection notamment avec la RD 419 (Belfort-Altkirch), un axe routier important rétabli par un pont route.

À Fontaine et à Larivière, la LGV franchit, par un viaduc bi-poutre de 882 mètres de long, 2 cours d'eau : le Margrabant et la Saint Nicolas, la plaine inondable associée, ainsi que la RD 60 qui relie la zone économique de l'Aéroparc à l'autoroute A36 (figure 5). Quelques kilomètres plus loin, en arrivant en Alsace, le projet longe l'A36 sur plusieurs kilomètres jusqu'à la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et la Mer du Nord, avant de passer en dessous de cette autoroute.

Ce passage est le point haut du projet, il se fait par une tranchée couverte

TABLEAU 1 : PRINCIPALES QUANTITÉS DU TRONÇON A

	UNITÉ	TRONÇON A
Rétablissement de routes	ml	5 000
Voirie latérale de service	ml	17 000
Déblais	m ³	1 300 000
Remblais	m ³	700 000
Dépôts et modelés	m ³	800 000
Fournitures extérieures	m ³	1 100 000
Béton pour ouvrages	m ³	30 000
Acier de béton armé ou précontraint	tonne	4 000
Charpente métallique	tonne	450

TABLEAU 2 : PRINCIPALES QUANTITÉS DU TRONÇON C

	UNITÉ	TRONÇON C
Rétablissement de routes	ml	25 000
Voirie latérale de service	ml	20 000
Déblais y compris emprunts	m ³	7 000 000
Remblais	m ³	4 000 000
Dépôts et modelés	m ³	2 000 000
Fournitures extérieures	m ³	2 500 000
Béton pour ouvrages	m ³	200 000
Acier de béton armé ou précontraint	tonne	35 000
Acier de charpente métallique	tonne	19 000

biaise de 170 mètres. Sa réalisation, assez contraignante, nécessitera d'importants travaux préalables sur l'A36, avec notamment des déviements provisoires des voies de circulation.

Et, comme pour le franchissement supérieur de l'A39 (tronçon A), la méthodologie de construction a été sagement concertée avec APRR.

C'est à partir de ce secteur que les terrassements seront les plus importants. Les matériaux extraits des buttes de Soppe à traverser permettront d'alimenter les besoins en plaine d'Alsace, à l'extrême Est du projet.

2 zones de déblais à Soppe-le-Haut et Soppe-le-Bas, feront l'objet d'extensions pour élargir la ressource interne en matériaux corps de remblais.

L'extraction envisagée est de l'ordre du million de mètres cube.

L'équilibre des terres se fait par ailleurs au sein des autres périmètres.

C'est entre ces 2 déblais que coule le Soultzbach, au fond de la vallée la plus marquée de la deuxième phase de la branche Est.

Son franchissement se fera par un viaduc en bi-caisson métallique de 630 mètres perché à 35 mètres du sol. Ce sera l'ouvrage le plus haut du projet (figure 6).



Plus loin, la future ligne à grande vitesse franchit la Doller, un cours d'eau sujet à de larges inondations coulant au cœur d'une zone Natura 2000. Ce franchissement se fera par un viaduc bi-poutre de 530 mètres de long, comprenant des travées de 56 mètres, répondant à un équilibre hydraulique calculé et concerté.

La construction de cet ouvrage situé dans une zone naturelle protégée, requerra une grande vigilance de la part de tous vis-à-vis du respect de l'environnement riche de faune et de flore. La RD 483 (ex RN 83) est la route à

grande circulation 2x2 voies entre Strasbourg et Lyon. C'est un axe qui supporte le trafic des convois exceptionnels.

Un gabarit minimum de 6 mètres a été exigé par les autorités et un accès latéral permet le passage de gabarits plus importants. Cet axe routier sera franchi par un pont-rail à poutres latérales métallique.

Au-delà, le projet qui devient plutôt rasant traverse les secteurs agricoles et forestiers de Schweighouse-Thann et de Reiningue. C'est dans le bois du Kurzallmend, au Pk 168, que com-

8- Photomontage du pont-rail au-dessus de la RN 66.

8- Photomontage of the rail bridge above national highway RN 66.

ence le dispositif d'inversion du sens de circulation (figure 7). À partir de ce point, une dizaine d'ouvrages de type portique, pont rail à ossature mixte et saut de mouton ont été conçus pour permettre les croisements d'une multitude d'infrastructure (voies LGV, la RN 66, la ligne de Kruth et les 2 raccords sur la ligne classique entre Mulhouse et Strasbourg), figure 8.

Le raccordement de la voie 2 de la LGV en direction de Mulhouse nécessitera la reconstruction d'un pont route sur la RD 66 à l'entrée de la Ville de Lutterbach. □

ABSTRACT

PHASE TWO OF THE RHINE-RHONE HIGH-SPEED TRAIN LINE – EASTERN BRANCH

L. MAZZUCHELLI - A. TRUPHÉMUS, SETEC - P.-L. VEYRON & D. REYNARD, SETEC

Phase two of the Rhine-Rhone high-speed train line, Eastern branch, involves extending the line commissioned on 11 December 2011 westward and eastward, over about fifty kilometres in all. As part of a financing memorandum of understanding signed in January 2012, the relevant local governments (the Alsace, Bourgogne and Franche-Comté regions) confirmed their commitment alongside the central government and the owner, Réseau Ferré de France, to financing the studies needed to define the land to be acquired. Section A, between Genlis and Villers-les-Pots, passes through a sector with a relatively gentle relief over 15 kilometres and contains difficult sectors, such as the crossing of the A39 motorway and connecting areas. Section C passes through a territory where the topography is far more undulating and has more watercourses and a few large valleys. Accordingly, numerous very large viaducts and substantial volumes of earthworks are required. Borrow materials along the route are planned in order to limit the use of external filler materials. □

LA SEGUNDA FASE DE LA LAV RIN-RÓDANO RAMAL ESTE

L. MAZZUCHELLI - A. TRUPHÉMUS, SETEC - P.-L. VEYRON & D. REYNARD, SETEC

La 2ª fase de la LAV Rin-Ródano Ramal Este consiste en prolongar, al oeste y al este, en unos cincuenta kilómetros en total, la línea puesta en servicio el 11 de diciembre de 2011. En el marco de un memorando de intenciones de financiación firmado en enero de 2012, las entidades territoriales interesadas (las Regiones de Alsacia, Borgoña y Franco Condado) confirmaron su compromiso junto con el Estado y el promotor, el Réseau Ferré de France, para la financiación de los proyectos necesarios para la definición de los terrenos que se debían adquirir. El tramo A, entre Genlis y Villers-les-Pots, atraviesa un sector con un relieve poco marcado en 15 kilómetros e incluye sectores delicados, como el cruce de la A39 o las zonas de conexión. El tramo C atraviesa un territorio con una topografía considerablemente más accidentada y que presenta más cursos de agua y algunos grandes valles. Así, el número de grandes viaductos y el volumen de los movimientos de tierras son importantes. Se han previsto excavaciones a lo largo del trazado para limitar las aportaciones externas de materiales. □

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS



877 - INNOVATION & GÉNIE CIVIL



878 - L'EAU - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX



879 - OUVRAGES D'ART



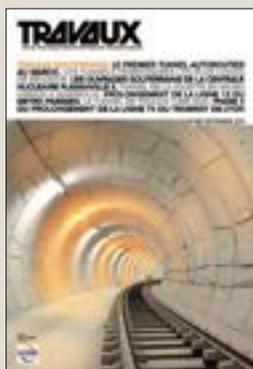
880 - SOLS & FONDATIONS



881 - TRANSPORTS & INFRASTRUCTURES



882 - PATRIMOINE & REHABILITATION



883 - TRAVAUX SOUTERRAINS



884 - INTERNATIONAL



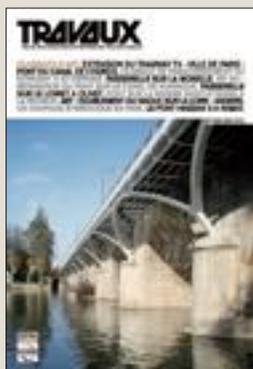
885 - ROUTES ET TERRASSEMENTS



886 - VILLE DURABLE - ENERGIE - URBANISME



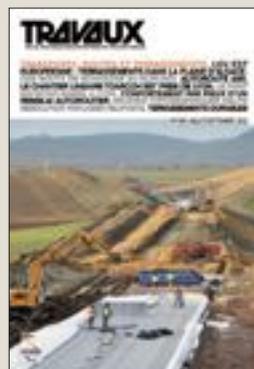
887 - EAU, BIODIVERSITE & INFRASTRUCTURES



888 - OUVRAGES D'ART



889 - SOLS & FONDATIONS



890 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



891 - PATRIMOINE & REHABILITATION

BON DE COMMANDE

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- 877 x 878 x 879 x
 880 x 881 x 882 x
 883 x 884 x 885 x
 886 x 887 x 888 x
 889 x 890 x 891 x

Soit un montant total de :
_____ numéros x 25 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 25 € à 20 € l'unité. Pour plus de 100 numéros commandés le prix est de 17 € l'unité. Pour les auteurs de la revue le prix est de 15 € l'unité.)

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail.

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de ESI

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de ESI

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

MATERIEL DE TERRASSEMENT

Ammann France - ZI Les Petites Haies
31/33, rue de Valenton - 94046 Crittoli Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info.af@filammann-group.com
www.ammann-group.com

BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT
Numéro Indigo
0 825 08 43 81

FRANCE
PLUS DE 500 Machines et
700 Équipements en TP, PL
Lavage et Manutention
T : 00 33 1015 23 04 00 88
F : 00 33 1015 23 68 33 80
Mail : sodineg@wanadoo.fr
DEPOTS 02 ET 74

■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

BOBCAT EUROPE
J. Huysmanslaan 59 B
1651 Lot - Belgique
Tél. 00 32 2 371 68 11
Fax 00 32 2 371 69 00

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ MINI-PELLE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT

ONE - TP.COM
1 Place du 8 Mai 1945
60119 Neuville Bosc
Tél. 01 30 37 06 26
Fax 01 34 40 01 44

MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Éguillette
BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ CHARGEUSE PELLETEUSE (BACKHOE LOADER)

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

PERI[®]
Coffrages et Etaisements
PERI S.A.S.
Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière
77109 Meaux cedex
Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50
peri.sas@peri.fr
www.peri.fr

MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

Ammann France - ZI Les Petites Haies
31/33, rue de Valenton - 94046 Crittoli Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info.af@filammann-group.com
www.ammann-group.com

2, avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
www.bomag.com

WIRTGEN FRANCE
WIRTGEN
Fraiseuses sur roues et sur chenilles
Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol
Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface
Outils au carbure. Betek/Sitek
VÖGELE
Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs
HAMM
Rouleaux tandem vibrants
Compacteurs à pneus
Compacteurs monocylindre vibrants
KLEEMANN
Installations de concassage mobiles et fixes / cribles
Distributeur exclusif pour la France des épandeurs de liants pulvérulents
STREUMASTER série SW
WIRTGEN FRANCE
BP 31633 - 7, rue Marc Seguin
95696 Goussainville Cedex
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
www.wirtgen.fr

METALLIANCE

ZI de la Saule - BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

RABAUD

Bellevue - 85110 Sainte-Cécile
Tél. : 02 51 48 51 58
Fax 02 51 40 22 97
www.rabaud.com
info@rabaud.com

MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

■ TRAVAUX SOUTERRAINS

AUSCULTATIONS Automatiques
Tél. 01 41 42 06 30
Fax 01 41 42 06 31
www.miretopo.com

■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE

Bureau d'Etude
Bathymétrie - Topographie
Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages
Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27
www.bathys.fr - contact@bathys.fr

CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.

MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

metso
Concassage, broyage, criblage, maintenance
Metso Minerals (France)
11, rue de la République - 71006 Mâcon Cedex
Tél. : 03 85 07 30 00 - Fax : 03 85 07 30 01
www.metso.com

POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE

SOTRES

Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE

GRAVEL

1 Chemin de Villers à Combault
94420 Le Plessis Trevisé
Tél. 01 45 94 59 53
Fax 01 45 94 59 83

MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE

LEDUC T.P

1, rue de Folenrue
27202 VERNON cedex
Tél. 02 32 51 74 97
Fax 02 32 51 57 18

MATERIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION

G-OCTOPUS
www.g-octopus.com
Tél. : +33 01 47 32 48 30

DÉSABLEUR DE BOUES

SOTRES

Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

POMPES À BOUES

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

PRESSE D'INJECTION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS

MARAIS SERVICES
Marais Contracting Services
1, rue Pierre et Marie Curie
49430 DURTAL
Tél : 02 41 96 16 99 - Fax : 02 41 96 16 99
Email : info@marais.com - Web : www.marais.com

TRANCHEUSE

MARAIS CONTRACTING SERVICES

1, rue Pierre et Marie Curie
ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20
49430 DURTAL
Tél. 02 41 96 16 90
Fax 02 41 96 16 99

MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION S.A.S.
Z.I. du Vert Galant - 2, avenue de l'Eguillette
B.P. 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise cedex
Atlas Copco
Tél. : 33 (0) 1 39 09 32 22
Fax : 33 (0) 1 39 09 32 49
www.atlascopco.fr

Ducrocq
Ingénierie Process
ZA Ecoles 63020 MONTREUILMÉR
Tél : 03 21 99 02 60 - Fax : 03 21 99 02 60
E-mail : ducrocq.industrie@wanadoo.fr
Site Internet : www.ducrocq-ingenierie-process.com

METALLIANCE

ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

BERLINE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

TECHNICRIBLE

Zone industrielle
81150 LAGRAVE
Tél. 05 63 81 41 57
Fax 05 63 81 41 56

LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)

METALLIANCE

ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

ENGIN DE BOULONNAGE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

ENGIN DE FORATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE

Lhoist France
Une société du Groupe Lhoist
100, Rue de France - 97000 Pointe à Pitre
Tél. : +33 (0)1 96 45 50 00 - Fax : +33 (0)1 96 45 50 14
www.lhoist.com

BUREAU ETUDES

20 agences en France
Rincemont BTP
8 agences à l'international
www.rincemontbtp.fr
Tél. +33 (1) 60 87 21 25
direction.technique@rincemontbtp.fr

CATHIE ASSOCIATES
www.cathie-associates.com
Tél. : +33 1 47 32 48 30

MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

SDMO INDUSTRIE

12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241
29272 Brest cedex
Tél. 02 98 41 41 41
Fax 02 98 41 13 10

MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUTS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ :
EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr

MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ELÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDÉUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDÉUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDÉUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION

- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÉSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE

Bâtis-moi une retraite sereine



Pour percevoir une rente complémentaire une fois à la retraite, c'est aujourd'hui qu'il faut agir. Avec la gamme de contrats **BATIRETRAITE Initiative** dédiés aux professionnels indépendants, vous pouvez bâtir à votre rythme une épargne-retraite et profitez dès à présent de réductions d'impôts dans le cadre de la loi Madelin. **BATIRETRAITE Initiative** c'est, pour les indépendants, une solution souple, sûre et fiscalement avantageuse. Parlez-en à votre conseiller de la SMAvie BTP et rejoignez les professionnels sociétaires de votre société d'assurance mutuelle.

Pour découvrir l'offre de la SMAvie BTP prenez rendez-vous avec un conseiller :

- par téléphone : 01 40 59 73 00
- ou sur smabtp.fr, rubrique "votre conseiller"

92%*

des sociétaires de la SMAvie BTP
sont prêts à nous recommander
auprès de leurs proches.

16,6 / 20*

C'EST LA NOTE DE SATISFACTION
ATTRIBUÉE À LA SMAvie BTP
PAR SES SOCIÉTAIRES



Matière®

SPÉCIALISTE DES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ PRÉFABRIQUÉS ET DES PONTS MÉTALLIQUES



Avec ses bureaux d'études intégrés, ses 5 sites de production d'ouvrages en béton armé préfabriqués et en métal, ses personnels et moyens propres de mise en œuvre sur chantier, l'Entreprise MATIÈRE® réalise tous types de ponts-rails, ponts-routes et tranchées couvertes pour les réseaux ferrés classiques et à très grande vitesse.



Matière®

Béton ou métal, Matière® vous ouvre la voie.