

LE VIADUC DE JAULNY

Patrick CHARLON, Frédéric CUFFEL

Eiffage TP

Mike PROOST

Victor Buyck SC

Jean-Bernard DATRY

SETEC TPI

Le viaduc de JAULNY constitue le tronçon J, inséré entre les lots 32 et 33 du tronçon E.

La longueur de ce lot est de 2 km ; le viaduc en structure bi-caisson mixte, est pour sa part long de 480 m ; il est le plus haut de la ligne (environ 50m) ; ses portées principales sont de 73,80 m. Ce lot présente par ailleurs l'originalité d'être réalisé en conception-réalisation, EIFFAGE TP étant le mandataire d'un groupement multidisciplinaire qui a franchi au préalable les phases APD et PRO avant d'être chargé de la réalisation.

Le lecteur se référera utilement au n° 794 de la revue TRAVAUX (février 2003) ; il y trouvera la description des études de ce concours orchestré par R.F.F., ainsi que les options techniques et architecturales qui ont permis au groupement d'adapter le projet aux contraintes environnementales et à celles du référentiel technique de la LGV Est Européenne.

Le présent article décrit plus en détail la phase exécution et met en évidence l'adéquation entre le projet, les méthodes d'exécution et les exigences du maître d'ouvrage, notamment en matière de sécurité et de respect de l'environnement et de la qualité. L'ouvrage est actuellement en phase de finition (superstructures, remblais derrière maçonnerie, espaces verts).

1. LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

L'ordre de service de démarrage des travaux a fixé celui-ci au 02/09/03. Les travaux préparatoires revêtent pour ce projet une grande importance :

- Déboisement ; zone très pentue dans la partie Co/P1 à l'Ouest ; zone très boisée du bois du Fey à l'Est (P6, C7, remblai Est) et haut lieu de lutte pendant la dernière guerre ; travaux à effectuer en contact permanent avec les services de déminage ; ces déboisements ont permis de mettre à jour la réalité topographique aux deux extrémités du Viaduc.
- Contact avec les riverains et propriétaires pour l'indemnisation des emprises temporaires (dépôts provisoires, accès de chantier).
- Passage préalable des services archéologiques ; des vestiges carolingiens ont pu être identifiés dans la zone P3/P4 ; des vestiges gallo-romains et des vestiges de guerre ont été reconnus dans les bois du Fey.
- Protection des essences rares et des zones protégées et sensibles sur le plan européen.
- Recherche de cavités karstiques ou d'anciennes galeries militaires par sondages destructifs et mesures microgravimétriques, au cours d'une campagne géotechnique complémentaire et en tout début de chantier.
- Réalisation d'un linéaire important de pistes d'accès aux appuis dans un site inondable ; un ouvrage provisoire est mis en place en fond de vallée sur le RUPT de MAD pour réaliser la pile P2. Les pistes sont à réaliser avec l'accord des autorités locales et des propriétaires ou exploitants.
- Réalisation d'installations de chantier aussi discrètes que possible dans le site
- Mise au point définitive des dépôts pour les excédents de déblais avec toutes les obligations administratives qui caractérisent cette démarche.
- Confortement des terrassements de certains appuis et notamment de la pile P1 par béton projeté et ancrages.

2. LES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET D'ASSAINISSEMENT

Ils s'étendent à l'ouest de l'ouvrage sur une distance de 150 m, et à l'est sur une distance de 1500m. Ils sont étroitement liés au phasage de l'ouvrage et sont de ce fait très hachés et très méticuleux ; Ils se différencient complètement des travaux de terrassement d'un TOARC classique.

2.1. A l'ouest du viaduc

Le déblai nécessaire à la trace du TGV a été complété par un déblai complémentaire exigé par la réalisation de la plateforme d'assemblage et de poussage de la charpente (hauteur égale à celle du caisson : 4,00m), ensuite remblayée pour réaliser la P.S.T. (Partie Supérieure du Terrassement). La pente des talus est de 3/2.



Photo 1 : Déblai Ouest et installation d'assemblage et de poussage

La plateforme finale, élargie par rapport à l'emprise courante, permet l'accès et le mouvement du matériel d'entretien ainsi que la visite d'installations électriques et des appareils de voies. Le raccordement se fait en sifflet avec le lot 32. Les aménagements à l'ouest comprennent également la réalisation d'une piste pour l'amenée de l'engin de visite MOOG. Dans le cadre de la protection de la faune, un PPF (Passage Petite Faune) est prévu au droit de cette plateforme ferroviaire.

Les travaux effectués se déclinent ainsi :

- Déblai : 50 000 m³
- Remblai : 20 000 m³
- Bloc technique en grave non traitée et en grave traitée : 5 000 m³
- Piste d'accès pour la nacelle MOOG : 500 ml
- Couche de forme LGV : 4 000 m³
- Bassin de régulation
- Assainissement piste MOOG et LGV
- Dépôt provisoire
- Aire de lançage du viaduc

2.2. Le mur de soutènement en enrochements

Le versant ouest du projet est très abrupt ; il reçoit à la fois la culée C0 et la piste MOOG à flanc du talus existant. Pour le soutènement, la FOREZIENNE D'ENTREPRISES a proposé la réalisation d'un mur en enrochement bétonné de grande hauteur (H=14m), apportant à la fois le raidissement nécessaire du talus et un plus environnemental au projet. (photo 2). Ce mur comporte un redans intermédiaire. Afin d'assurer le meilleur agencement possible de ces blocs d'enrochements pesant plus d'une tonne, la pelle hydraulique destinée à la pose des blocs a été équipée d'une pince spéciale permettant de faire tourner le bloc sur lui-même afin de choisir sa position idéale et le côté le plus esthétique pour la face qui sera vue.

Les travaux se sont déroulés dans des conditions topographiques très difficiles, avec un souci permanent de garantir la sécurité du travail sur la pile P1, située en contrebas : protection contre la chute des blocs (grillage type montagne, pièges à cailloux en matériaux pulvérulent, bourrelets de terre). 9 000 m³ d'enrochements ont ainsi été mis en œuvre.



Photo 2 : Mur de soutènement en enrochements – talus Ouest - pile P1 avec paroi clouée

2.3. A l'est du Viaduc

Un remblai de grande hauteur (H=25m), suivi d'un déblai de l'ordre de 1 000m³ servant d'emprunt de bons matériaux, assurent le raccordement au lot 33. Les travaux ainsi réalisés sont les suivants (photo 3) :

- Déblai : 600 000 m³
- Dépôt définitif à l'est (125 000 m³)
- Remblai de grande hauteur (avec 2 niveaux de risbermes) : 400 000 m³ ; pente moyenne : 3/2
- Blocs techniques en grave non traitée et en grave traitée : 5 000 m³
- Couche de forme LGV : 10 000 m³
- Bassins de régulation et de diffusion
- Assainissement LGV
- OH Ø 2000 de 100m de longueur
- PPF perpendiculairement à la trace.



Photo 3 : Déblai remblai Est



2.4. Les cadences de travail

La plus grosse partie des terrassements consiste en un remblai de 25m de hauteur permettant l'accès à la culée est du viaduc. Il a nécessité l'extraction de 600 000m³ de matériaux. Le travail a été réalisé entre février et septembre 2003 à la cadence journalière de 5 000m³. Ce travail a été exécuté avec un atelier de terrassement pelle/dumpers articulés de forte capacité travaillant en 2 postes de 8H00.

2.5. Les moyens matériels

4 Pelles hydrauliques de 25 à 70 tonnes
8 Dumpers articulés
2 Compacteurs
2 Bouteurs
1 Foreuse
1 Pelle équipée d'une pince pour enrochement.

3. LA RÉALISATION DES APPUIS

Elle a commencé en novembre 2003 comme prévu initialement pour respecter le planning très serré d'exécution de 21 mois.

3.1. La culée C0

C'est la culée de "poussage", située sur le chemin critique. Sa structure et son mode de réalisation par banches toute hauteur sont traditionnels. Cependant un incident géologique a été découvert à la réception du fond de fouille de la semelle superficielle, malgré les nombreuses campagnes géologiques effectuées avant et pendant les travaux préparatoires. Un important réseau faillé vertical et orthogonal, régnant sur une dizaine de mètres de profondeur, a été découvert sous et au voisinage de l'appui. Une première campagne d'injection a été réalisée sous la semelle elle-même pour assurer la portance requise ; une deuxième campagne d'injection et de clouage a été nécessaire pour assurer la stabilité d'ensemble du massif d'appui C0. Ce confortement a nécessité globalement la mise en œuvre de 1 200 m³ de coulis et a retardé sensiblement le démarrage des premiers appuis et l'assemblage des tronçons métalliques du tablier.

3.2. Les piles P1 à P6

Les piles courantes ont été réalisées 2 par 2 par levées de 4 m avec des coffrages grimpants. Deux noyaux intérieurs et un coffrage extérieur ont été fabriqués, les coffrages intérieurs servant à la mise en place des cages d'armatures préfabriquées des levées tandis que le coffrage extérieur était utilisé alternativement entre les deux piles pour permettre le coulage des levées.

Ce phasage a permis l'utilisation d'une seule grue à tour pour la réalisation de 2 piles simultanément, mais en contrepartie cette grue devait avoir une capacité suffisante pour manutentionner des charges de l'ordre de 9T entre les 2 fûts. Les piles présentant sur leur tranche un parement sombre (béton coloré), le coffrage a intégré la mise en place d'éléments préfabriqués verticaux insérés avant bétonnage et liaisonnés avec les armatures des levées, ces éléments étant employés par la même occasion comme peau coffrante (photo 4). La durée moyenne de la réalisation de 2 piles complètes est de l'ordre de 2 mois. Les éléments colorés latéraux des fûts de piles ont été réalisés sur place en béton coloré (2% du poids du ciment).



Photo 4 : Coffrage grim pant sur pile P5

3.3. La culée C7

C'est une culée classique chevêtre perché en haut de remblai et fondée sur six pieux Ø1200 de 25m de profondeur.

4. LE BI-CAISSON MÉTALLIQUE

Le lecteur pourra se reporter utilement au n° 794 de la revue TRAVAUX au sujet de la conception du bi-caisson métallique de 3 000 tonnes constituant le tablier lancé depuis C0. Quelques points caractéristiques de la réalisation sur site :

4.1. Assemblage

Le bi-caisson a été préfabriqué par tronçons dans les ateliers de VBSC à EEKLO (Belgique). Ces tronçons, au nombre de 40, ont été acheminés par convois routiers, le plus important mesurant 28 m et pesant 50 Tonnes. Les tronçons préfabriqués intègrent toute l'ossature du bi-caisson (raidisseurs, diaphragmes) seuls les joints transversaux et les fixations des entretoises étant réalisés sur le banc de poussage. Le bi-caisson a été assemblé au fur et à mesure et poussé en 4 fois, par longueurs de 150 m. Les soudures ont été réalisées en atmosphère protégée, deux « cabines » roulant sur l'ouvrage ayant été réalisées pour le projet (photo 1). Ce système a permis l'emploi du procédé de soudage 136 (protection gazeuse). L'assemblage sur site des tronçons s'est étendu sur une période de 8 mois.

4.2. Butée P6

La butée de l'ouvrage est l'élément qui transmet les efforts horizontaux du tablier à la pile double P6 (point fixe). C'est un parallélépipède de section 1m sur 1m et ancré de 3 m dans le chevêtre de la pile. Cet élément a été fixé provisoirement à l'entretoise haute du bi-caisson située à sa verticale préalablement aux opérations de poussage. Une fois la tablier en position, elle a été scellée lors de la mise sur appuis.

4.3. Mise sur appuis

Cette opération a consisté au vérinage du bi-caisson pour le descendre de ses appuis provisoires de lançage sur ses appuis définitifs, soit une hauteur de 40 cm, et à la mise en place de butée. L'opération de descente s'est effectuée par pas de 20 cm pour limiter les rotations au niveau de la structure.

L'une des difficultés majeures a été le maintien de l'ouvrage vis à vis d'un déplacement longitudinal lors du scellement de la bêche.

En effet, seuls deux appuis peuvent reprendre les efforts horizontaux générés par le tablier (dilatation thermique) : la pile P6 et le banc de poussage. La solution d'une butée provisoire en P6 n'a pu être retenue, les dimensions du chevêtre ne permettant pas la mise en place simultanément des appuis provisoires de l'ouvrage (balançoires), du système de guidage latéral, d'un dispositif de butée provisoire et d'un poste de travail pour le scellement de la bêche. Le charpentier a donc du positionner sa butée provisoire sur le banc de poussage, solution gênante car la distance importante entre ce point et la pile P6 (450 m) risquait d'induire des déplacements importants de la structure par dilatation thermique au droit de la bêche lors de la prise du mortier scellement, rendant donc cette opération impossible.

Le charpentier a donc dû surélever le bi-caisson de 20 cm par rapport à ses appuis provisoires pour faire échapper la partie haute de la bêche à son dispositif d'accroche au bi-caisson et ainsi permettre la libre dilatation de la structure sans influencer la bêche.

L'opération de descente du tablier s'est réalisée 2 appuis par 2 appuis de C7 vers C0 suivant le phasage suivant : Les côtes sont indiquées par rapport au niveau de poussage (40 cm au dessus du niveau définitif de l'ouvrage) :

- C7 : -20 ; P6 : -20
- C7 : -40 ; P6 : -20
- P5 : -20 ; P6 : -40
- P4 : -20 ; P5 : -40
- P3 : -20 ; P4 : -40
- P2 : -20 ; P3 : -40
- P1 : -20 ; P2 : -40
- C0 : -20 ; P1 : -40
- C0 : -40

4.4. Poussage au-dessus de la voie ferrée PARIS-METZ

Le passage de l'avant bec au dessus de la voie ferrée s'est déroulé sous consignation caténaire, le groupement n'ayant que 4 H dans la nuit du 30/11/03 au 01/12/03 pour faire avancer le bi-caisson de 41 m (distance nécessaire pour l'accostage complet de l'avant bec sur la pile suivante). Une procédure spéciale et une analyse de risque ont été établies à cet effet en parfaite coordination avec la SNCF, en complément de la NPSF (Note Particulière de Sécurité Ferroviaire), établie lors de la conception du projet.

5. LE HOURDIS BÉTON ET LES SUPERSTRUCTURES

Le hourdis béton (B 36) est réalisé par plots de 12.30 m au moyen de 2 équipes mobiles (poids unitaire 25T) suivant un phasage précis (photo 5). Ce phasage intègre :

- limitation des rotations au niveau des appuis, l'ouvrage étant sur ses appuis définitifs au moment de la réalisation du hourdis.
- limitation des longueurs de pompage pour la réalisation du hourdis.
- début de la pose des corniches sur les encorbellements avant la fin de la réalisation du tablier.

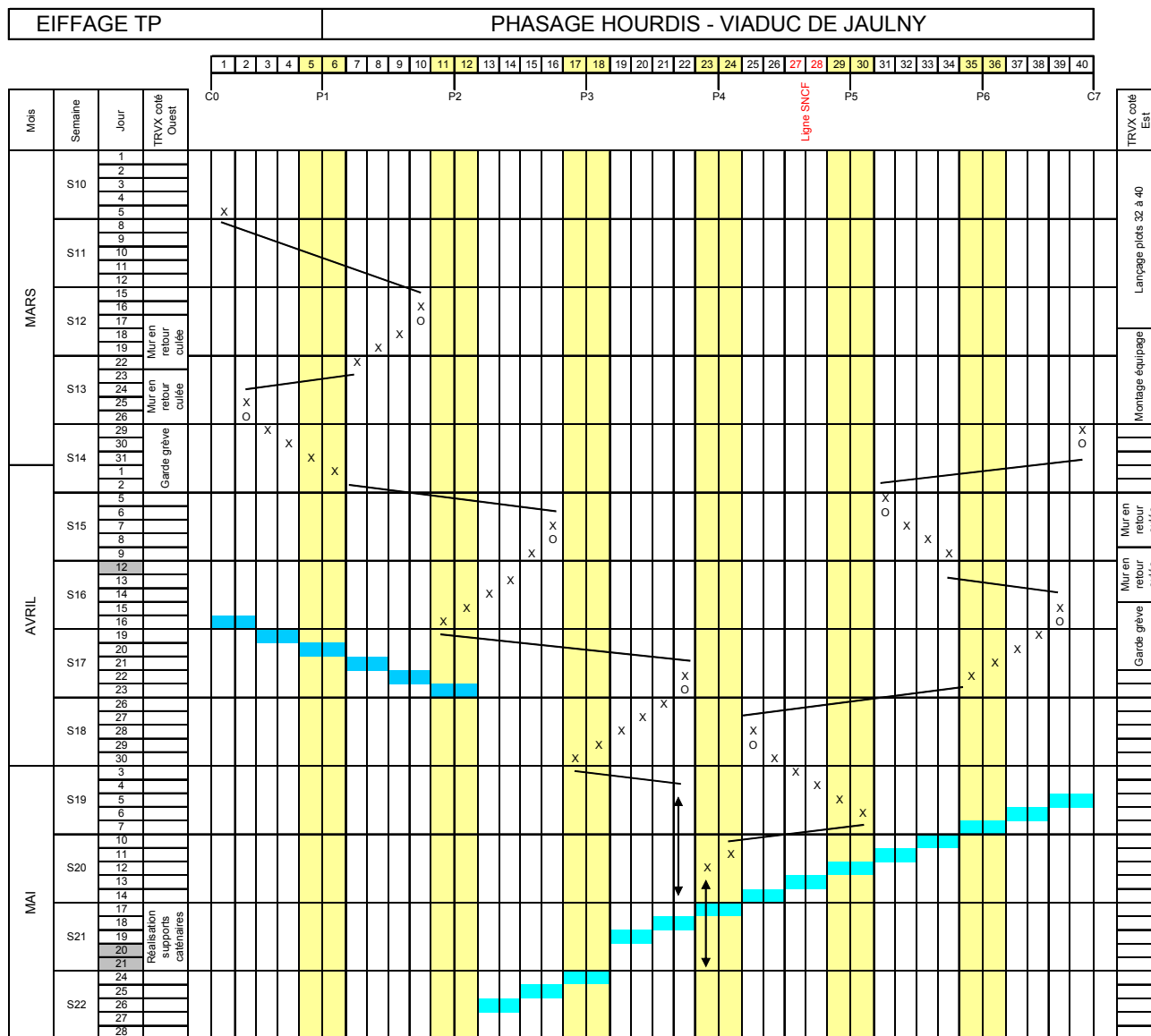


Figure 5 : Planning hourdis

Les équipages mobiles (photo 6) ne coffrent que la partie en encorbellement de part et d'autre du hourdis, la partie centrale étant coffrée par des prédalles. La réalisation du hourdis est rapide, les armatures ayant été placées sur le bicaisson préalablement au lançage. La cadence de 1 plot par jour par équipage est atteinte en travée courante.

Le tablier est complété et équipé par :

- des écrans béton préfabriqués permettant la circulation de l'engin MOOG : protection contre le bruit ; garde ballast.
- des caniveaux à câbles classiques
- une étanchéité type chape souple avec protection en béton bitumineux (5700m²)
- un collecteur métallique sous encorbellement
- un joint garde ballast coté C0 (souffle de 40 cm)
- un joint classique à couteau sous ballast (souffle de 5cm) coté C7
- des plots support caténaire espacés de 36m.



Photo 6

Une attention particulière a été attachée, au niveau de la conception et de la réalisation, aux dispositifs de sécurité destinés au personnel de maintenance et de surveillance de l'ouvrage :

- caillebotis longitudinal entre les deux caissons
- marches métalliques intérieures au droit des diaphragmes et entretoises
- éclairage intérieur de chaque caisson
- dispositifs d'accès aux têtes de piles pour inspecter les appareils d'appui
- dispositifs de changement des appareils d'appui
- accès antivandalisme pour inspection, voire changement, des humidificateurs.

Pour la sécurité en cours de travaux, un plancher de protection (photo 7) a été fixé de part et d'autre du bi-caisson afin d'éviter toute projection en contrebas de matériau lors de la réalisation du hourdis béton armé. Ce plancher provisoire qui surplombe la voie ferrée en service a été mis en place avant poussage du tablier, et sera enlevé une fois les travaux de réalisation du tablier terminés.



Photo 7



6. LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le site du lot 38 est inscrit à l'inventaire ZNIEFF. La conception du projet (voir n°794) a intégré les contraintes environnementales qui en découlent. Au niveau de l'exécution, celles-ci sont essentiellement, les suivantes :

- le viaduc de Jaulny est situé au cœur de Parc National Régional de Lorraine et des espèces florales protégées ont été détectées à proximité du site
- le viaduc de Jaulny enjambe la rivière Rupt de Mad qui fournit 60% de l'eau potable de la ville de Metz
- le captage d'eau du village de Jaulny est situé à 2 km de l'emprise des travaux
- la zone des travaux inondable.

7. MAITRISE D'ŒUVRE ET ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Les relations maîtrise d'ouvrage / groupement se sont caractérisées, tant au niveau de la conception que de l'exécution, par un grand climat de confiance réciproque et par une transparence totale. Cette collaboration constructive a permis de réaliser un projet innovant respectueux du référentiel technique, notamment en ce qui concerne le tablier bi-caisson mixte de grande portée, poussé avec prédalles et ferrailage du hourdis.

Si le respect de la qualité au niveau des études et des travaux a été supervisé par le conducteur d'opérations SCETAUROUTE, R.F.F. a toujours considéré le groupement concepteur-réalisateur comme un véritable maître d'œuvre.

Qu'il en soit remercié ici. L'assurance de la qualité au cours des différentes phases du projet a été définie dans le marché au travers d'un schéma directionnel de la qualité (SDQ), repris par une NOG (Note d'Organisation Générale) au niveau de l'exécution. Les études et les travaux ont fait l'objet d'un contrôle interne et d'un contrôle externe niveau 1 effectués par chaque co-traitants ; un contrôle externe niveau 2 (responsable devant la maîtrise d'œuvre du projet) permanent sur site a garanti la validité et la cohérence des études ainsi que la qualité des travaux réalisés.

Le bon fonctionnement de la démarche mise en œuvre a été confirmé au cours des audits effectués par R.F.F et des audits internes.

8. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Réseau Ferré de France (RFF)

Conducteur d'opération : Scetauroute

Maîtrise d'œuvre travaux : en groupement

- Eiffage TP (mandataire)
- Victor Buyck Steel Construction (tablier métallique)
- Société Forézienne d'Entreprises et de Travaux (Terrassements)
- Setec TPI (Conception –Contrôle externe)
- Architecture Neel (Architecte)
- Espace (Architecte)
- Cabinet Alliod (Aménagements paysagers)

9. LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Béton pour fondations :	2700 m3
Béton pour parties en élévation des piles et culées :	4400 m3
Béton pour tablier :	2300 m3
Armatures passives :	1200 tonnes
Charpente métallique du tablier :	3000 tonnes
Etanchéité :	5700 m2
Terrassements : Déblais :	666000 m3
Remblais :	545000 m3