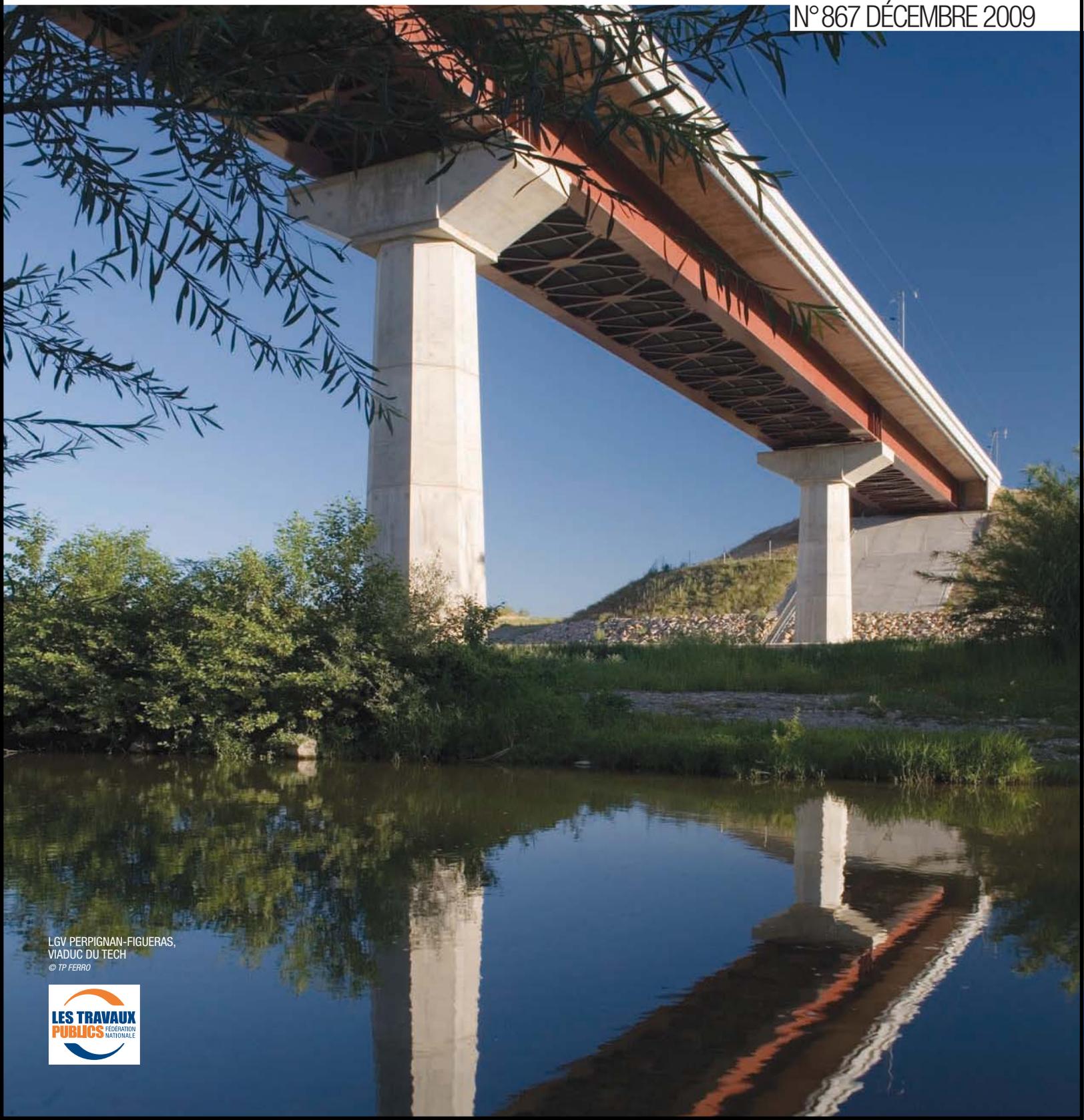


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

LGV PERPIGNAN-FIGUERAS. L'AXE FERROVIAIRE A GRANDE VITESSE DU SUD-OUEST DE L'EUROPE. LA CONCEPTION DE LA LIGNE. CONCERTATION ET MAITRISE DES EMPRISES FONCIERES. LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT. LES OUVRAGES D'ART. TUNNEL DU PERTHUS. LE BETON DE VOIE DU TUNNEL. L'INSTALLATION DES VOIES FERREES. L'ELECTRIFICATION. LA SIGNALISATION. LES EQUIPEMENTS DU TUNNEL. LA SECURITE

N° 867 DÉCEMBRE 2009



LGV PERPIGNAN-FIGUERAS,
VIADUC DU TECH
© TP FERRO



TRAVAUXREVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES
DE TRAVAUX PUBLICS

N° 867 DÉCEMBRE 2009

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directrice déléguée**
Rédactrice en chefMona Mottot
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fntp.fr**Comité de pilotage**Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Datry
(Setec TP), Philippe Jacquet (Bouygues),
Stéphane Monleau (Solétanche Bachy),
Bruno Radiguet (Bouygues), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel
Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel),
Mona Mottot (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro****Rubrique Actualité**

Monique Trancart

Secrétariat de rédaction

Julia Deck

Service Abonnement et Vente**Com et Com****Service Abonnement 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

France (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****Régie Publicité Industrielle**

Xavier Bertrand - Norredine Bennai

9, bd Mendès France

77600 Bussy-Saint-Georges

Tél. : +33 (0)1 60 94 22 20

Email : bertrand@rpi.fr - bennai@rpi.fr

Site internet : www.revue-travaux.com**Réalisation et impression****Com'1 évidence**

8, rue Jean Goujon - 75008 Paris

Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34

Email : contact@com1evidence.com

Maquette**Idé Edition**La 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 bu 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°0111 T 80259
ISSN 0041-1906

© DR

La ligne nouvelle Perpignan-Figueras devrait voir ses premiers trains circuler l'an prochain et fonctionner ensuite dans sa version définitive, c'est-à-dire en tant que LGV raccordée au réseau à grande vitesse espagnol, avant la fin de 2012.

Achevée depuis la date prévue du 17 février 2009, sa mise en service tardive résulte du nouveau calendrier de la liaison Barcelone-Figueras, chantier, il est vrai, complexe et de grande ampleur.

Ce retard important ne doit pas cependant occulter les caractéristiques remarquables de cet ouvrage qu'il peut être utile de rappeler.

La dimension politique, économique et environnementale, d'abord. Sortant enfin l'Espagne de son isolement ferroviaire, il concrétise le premier lien du genre à travers les Pyrénées. Associant voyageurs et marchandises, il représente une avancée unique vers l'Europe du rail, reconnue et fortement soutenue par les instances communautaires.

Première concession ferroviaire en France, incluant à la fois la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de la ligne, financée aux risques et périls du concessionnaire, sa mise en place, après l'installation de la commission intergouvernementale fin 1998, s'est faite dans un climat de confiance remarquable entre les deux pays et dans des délais que l'on peut considérer comme brefs, compte tenu des différences d'approches nationales, notamment juridiques et fiscales, ainsi que de la complexité de l'appel d'offres européen. La qualité de ces relations est un acquis fondamental pour le succès de l'opération dans la durée et devra être préservé.

C'est également un exploit technique, comme le montre amplement ce numéro, à mettre à l'actif du concessionnaire retenu, la société TP Ferro associant le français Eiffage et l'espagnol ACS. L'achèvement à la date convenue cinq ans plus tôt de cette ligne qui comporte un tunnel de plus de 8 km creusé dans un terrain difficile constitue en soi une performance remarquable.

Enfin l'esprit de responsabilité dont le concessionnaire a su faire preuve dans la situation délicate créée par le retard de la connexion sud ainsi que son respect des engagements valent d'être relevés. Au moment où le recours à des PPP, notamment dans le domaine ferroviaire, tend à se multiplier en France, ils en confortent le principe.

CHRISTIAN DE FENOYL
CHEF DE LA DÉLÉGATION FRANÇAISE
À LA COMMISSION INTERGOUVERNEMENTALE

LISTE DES ANNONCEURS : PRO BTP, 2^e DE COUVERTURE - IHC, P.13 - METALLANCE, P.14 - CNETP, P.17 - INGÉROP, P.71 - LEDUC, P.77 - HERRENKNECHT, 4^e DE COUVERTURE

CRÉDITS PHOTOS : TP FERRO - EIFFAGE ET FILIALES



INTRODUCCIÓN

Con la firma en 1995 del Convenio Internacional entre España y Francia para la construcción y explotación de la Sección Internacional de una línea ferroviaria de alta velocidad, se inició el camino para la realización de una nueva línea que conectará las poblaciones de Figueres y Perpiñán, incluida en el proyecto prioritario nº 3 denominado eje ferroviario de Alta Velocidad del Suroeste de Europa. Tal y como se estableció en el Convenio, una Comisión Intergubernamental, en nombre de los estados español y francés, se encarga de supervisar e impulsar los trabajos a realizar para el desarrollo de la Conexión Internacional. Conforme al nuevo calendario establecido por el gobierno español para la Conexión Sur entre Barcelona y Figueres, se prevé la puesta en servicio en 2012, con una fase transitoria a finales de 2010 o comienzos de 2011.

La Nueva Línea, que está recibiendo un importante apoyo financiero de la Comisión Europea, a través de las ayudas concedidas para las Redes Transeuropeas, tiene tres importantes características: se trata de la primera conexión entre España y Francia en ancho estándar, se construye para la circulación tanto de mercancías como de viajeros y se realiza dentro del marco de la Financiación Público Privada. Por tanto, se trata de un buen ejemplo dentro de la Unión Europea.

Para las relaciones entre España y Francia, la construcción de la Sección Internacional, supone por sus características, el primer ejemplo de colaboración en el ámbito ferroviario, tanto desde el punto de vista técnico como institucional, que tiene que tener su continuidad en los importantes proyectos ferroviarios transfronterizos que son objeto de estudio en estos momentos por los dos Estados.

En relación con el Concesionario TP Ferro, en el que participan dos de los grupos constructores más importantes de España y Francia, cabe destacar su profesionalidad y sobre todo el cumplimiento de los plazos para la construcción de las obras, previstos en la firma del contrato de la Concesión, el 17 de febrero de 2009. Este cumplimiento del plazo tiene un mérito extraordinario si se consideran las dificultades encontradas durante el proceso de construcción, especialmente en el túnel de 8,3 km que une los dos países y en el que han existido problemas importantes, derivados de la dificultad geotécnica del terreno encontrado. En fin, estamos también ante un buen ejemplo de colaboración de empresas privadas de ambos países.

Dentro de un año los primeros trenes de viajeros podrán circular por la Sección Internacional, lo que supondrá un paso importante para romper el aislamiento ferroviario español. Posteriormente en 2012 la Sección Internacional permitirá el tráfico, tanto de trenes de viajeros, como de mercancías, a las velocidades previstas en el contrato, 350 km/h para viajeros y 100 km/h para mercancías. Y en un futuro, a medio plazo, de conformidad con la aprobación el 26 de noviembre de 2009 del Debate Público desarrollado en Francia para la nueva línea entre Montpellier y Perpiñán esperamos que la Alta Velocidad tenga su total continuidad entre Madrid y París, a través de la fachada mediterránea, lo que permitirá una considerable mejora de los tiempos de viaje en este itinerario y también que las mercancías que circulen por el corredor español del mediterráneo puedan llegar a Francia y el resto de la Unión Europea en mejores condiciones de fiabilidad y tiempos de recorrido.

CARLOS MARÍA JUÁREZ COLERA
DIRECTOR GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
MINISTERIO DE FOMENTO

© TP FERRO



06 ALBUM

10 ACTUALITÉ

20 TROPHÉES DES TP



24

LGV PERPIGNAN-FIGUERAS
L'axe ferroviaire à grande vitesse
du Sud-ouest de l'Europe



28

**LA CONCEPTION
DE LA LIGNE**



32

**CONCERTATION ET
MAÎTRISE DES EMPRISES
FONCIÈRES**



35

**LES TRAVAUX
DE TERRASSEMENT**



40

LES OUVRAGES D'ART
de la plate-forme France



50

**LES OUVRAGES D'ART
À STRUCTURE MÉTALLIQUE
OU MIXTE**



56

TUNNEL DU PERTHUS
Réalisation d'ouvrages
en terrain complexe



66

**LE BÉTON
DE VOIE DU TUNNEL**



73

LES VOIES FERRÉES



78

L'ÉLECTRIFICATION



81

LA SIGNALISATION



84

LES ÉQUIPEMENTS
du tunnel du Perthus



88

**LA SÉCURITÉ
D'UNE LIGNE FERROVIAIRE**
Un objectif primordial

LGV PERPIGNAN-FIGUERAS L'AXE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE DU SUD-OUEST DE L'EUROPE

AUTEURS : MARC LEGRAND, PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DE TP FERRO -
EUSEBIO CORREGEL BARRIO, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE TP FERRO

L'HISTOIRE DES SYSTÈMES FERROVIAIRES A DONNÉ UN POIDS CONSIDÉRABLE AUX SPÉCIFICITÉS NATIONALES. IL EN EST AINSI DES RÉSEAUX FRANÇAIS ET ESPAGNOLS QUI DIFFÉRENT PAR L'ÉCARTEMENT, LE SENS DE CIRCULATION, LA TENSION DU COURANT DE TRACTION ET LA SIGNALISATION.

L'UN DES ENJEUX DE L'AXE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE DU SUD-OUEST DE L'EUROPE, RETENU EN 1993 COMME UN PROJET PRIORITAIRE DU RÉSEAU TRANSEUROPEËN, EST DONC LA CONNEXION ENTRE LA FRANCE ET L'ESPAGNE. C'EST SANS DOUTE L'UNE DES RAISONS QUI ONT CONDUIT À LA SIGNATURE LE 10 OCTOBRE 1995 PAR LES DEUX ETATS DE L'ACCORD DE MADRID. CELUI-CI PRÉVOIT LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION DE LA LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE ENTRE PERPIGNAN ET FIGUERAS PAR VOIE DE CONCESSION. APRÈS LE TUNNEL SOUS LA MANCHE, VOICI LA DEUXIÈME CONCESSION D'UN OUVRAGE FERROVIAIRE INTERNATIONAL SOLLICITÉE AUPRÈS DU SECTEUR PRIVÉ.



Les 44 kilomètres de cette section internationale concédée se prolongent au sud par environ 133 kilomètres de ligne ferroviaire à grande vitesse pour rejoindre Barcelone et se raccorder à la ligne à grande vitesse Barcelone-Madrid, en service depuis le début de l'année 2008 (figure 2). Les travaux de cette section Figueras-Barcelone sont réalisés par l'ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias). Une fois l'ensemble constitué de Perpignan-Figueras et Figueras-Barcelone en service, Barcelone sera à 50 minutes de Perpignan (contre 2 heures 45 aujourd'hui), à 3 heures 30 de Marseille et Lyon, à 5 heures 30 de Paris, à 7 heures 30 de Bruxelles et à 9 heures de Zurich et Londres.

Cette section internationale est conçue, à caractère mixte, susceptible d'être empruntée par des trains de voyageurs comme par des trains de fret. Ce sont aujourd'hui seulement 5 % des marchandises qui franchissent la frontière franco-espagnole au bord de la Méditerranée qui utilisent le fer. La nouvelle infrastructure doit permettre un développement significatif du fret ferroviaire. Elle est, pour cela, connectée à des installations terminales construites par RFF à Perpignan.

L'ATTRIBUTION DE LA CONCESSION

En application de l'accord de Madrid, les deux États lancent en 2003 un appel d'offres pour la conception, le

financement, la construction et l'exploitation de la ligne nouvelle à grande vitesse Perpignan-Figueras.

Deux des dix premiers groupes de construction et concession européens, ACS et Eiffage, constituent à parité une société dénommée TP Ferro qui remporte cet appel d'offres. Le contrat de concession est signé à Madrid le 17 février 2004. Il prévoit une durée de concession de cinquante ans, arrête les règles de calcul des péages (environ 1 350 € pour un TGV, aux conditions économiques de 2003, année de la remise de l'offre, et 550 € pour un train de fret) et fixe au 17 février 2009 la date de mise en service. L'investissement s'élève à environ 1 100 M€ financé à hauteur de 590 M€ par

une subvention versée à parité par la France et l'Espagne, de 110 M€ par les fonds propres du concessionnaire et de 400 M€ par un emprunt souscrit auprès de 18 banques dont le global agent est BBVA.

Le montage financier prévoit pour 2015 le refinancement de la dette afin de disposer de plus de 5 ans d'observation du trafic (jusqu'à cette date, les frais financiers sont évidemment payés mais il n'y a pas de remboursement du principal) ; il est primé comme contrat de l'année par les revues Euromoney et Project Finance International.

LA CONCEPTION DE LA LIGNE

TP Ferro confie la conception et les travaux de la section internationale à



un groupement constitué de filiales de construction d'ACS et d'Eiffage. Ce groupement élabore, dans les 15 mois suivant la signature du contrat, l'avant-projet détaillé de la ligne. Rappelons-en les principales caractéristiques qui seront détaillées dans les articles de ce numéro spécial. D'une longueur de 44,4 kilomètres, la ligne nouvelle est conçue pour être

parcourue à 350 km/h. L'écartement des rails est de 1,435 m, conformément au standard européen. L'énergie électrique de traction est fournie par un courant alternatif de 25 kV, distribué par une caténaire reliée à une sous-station construite par TP Ferro au Soler, dans la banlieue de Perpignan. Pour alimenter cette sous-station, TP Ferro a passé commande à RTE d'une

1- LGV Perpignan-Figueras – Tunnel du Perthus.

2- Profil en long du projet.

1- Perpignan-Figueras high-speed train line – Perthus Tunnel.

2- Longitudinal section of the project.

double liaison enterrée au réseau THT de 8 kilomètres sur 225 kV. La signalisation est conforme à la norme ERTMS-2 et doit permettre une exploitation à 350 km/h, avec une fréquence d'un train toutes les deux minutes et demie. Rappelons que dans ce système, la transmission des consignes de vitesse aux trains s'effectue par utilisation continue du GSM. ▷





La ligne comprend 10 viaducs, 2 « sauts-de-mouton » dont un permet l'inversion des sens de circulation, 31 ouvrages courants et 165 ouvrages hydrauliques ; sa construction met en œuvre 15 millions de m³ de terrassement. Elle franchit les Pyrénées par un tunnel de 8,3 kilomètres, composé de deux tubes distants d'environ 30 mètres, reliés entre eux par 41 rameaux de communication, soit un rameau tous les 200 mètres (figure 4). Ces rameaux, équipés à leurs deux extrémités de portes coupe-feu, permettent si nécessaire d'évacuer les passagers d'un train (photo 5). Les deux tubes sont munis de détecteur et d'équipement de ventilation dont la conception est détaillée ci-après. L'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement est fournie par deux alimentations indépendantes.

Ces dispositifs, comme l'ensemble de l'exploitation de la ligne, sont contrôlés depuis un poste de contrôle situé à l'entrée nord du tunnel ; un poste de contrôle principal sera ultérieurement intégré dans le poste général de la ligne qui sera réalisé par l'ADIF à Barcelone. La voie est posée sur 35 cm d'épaisseur de ballast à l'air libre. Dans le tunnel, pour éviter les multiples interventions de maintenance, elle est posée sur une dalle en béton de 23 cm d'épaisseur. La sécurité de la ligne fait par ailleurs l'objet d'importantes études menées par les équipes du groupement et de TP Ferro et soumis au comité de sécurité formé de représentants des deux États.

LA RÉALISATION DES TRAVAUX

Parallèlement à l'étude APD, TP Ferro procède aux acquisitions d'emprises. Si la législation espagnole permet de

disposer des terrains dès le début de l'année 2005, les opérations foncières sont plus longues en France, et ce n'est qu'au 1^{er} juillet 2006 que TP Ferro dispose de l'ensemble de la trace. Le souci de concertation, manifesté par de nombreuses réunions dans les communes concernées, permet une bonne insertion du projet. Dans seulement à peine 3 % des cas, il faut recourir à l'expropriation. Les travaux sont exécutés par les filiales de construction d'Eiffage et d'ACS : Eiffage Travaux Publics et Dragados pour les terrassements, les ouvrages (avec Eiffel pour les tabliers métalliques) et le tunnel, Vias, Tecsa et Wittfeld pour les voies, Cobra et Forclum pour les équipements.

Le premier tunnelier est baptisé le 19 juillet 2005 et le percement achevé le 22 novembre 2007. Jean-Luc Trottin expose les difficultés rencontrées dans

3- ACS et Eiffage, constituent à parité une société dénommée TP Ferro.

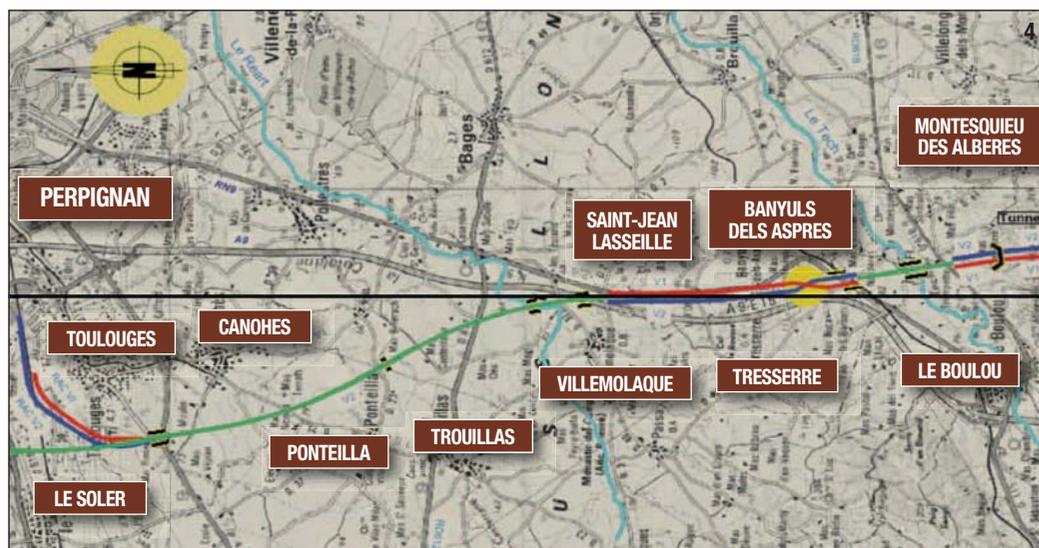
4- Vue en plan du projet de la plateforme France.

5 & 6- Le tunnel du Perthus.

3- ACS and Eiffage form a 50/50 company called TP Ferro.

4- Plan view of the subgrade project in France.

5 & 6- The Perthus Tunnel.



LA LIGNE COMPREND 10 VIADUCS, 2 « SAUTS-DE-MOUTON » DONT UN PERMETTANT L'INVERSION DES SENS DE CIRCULATION, 31 OUVRAGES COURANTS ET 165 OUVRAGES HYDRAULIQUES



6

le percement du tunnel du Perthus ; la découverte, dans la zone centrale, d'un mille-feuille de failles subhorizontales entraîne, malgré tous les efforts du groupement, plus de huit mois de retard dans la réalisation du tunnel. Parce que ACS et Eiffage font une priorité absolue du respect des délais, un programme de rattrapage est mis en œuvre.

La voie en Espagne devait être posée à l'avancement depuis la France en

passant par le tunnel : pour éviter que celui-ci demeure sur le chemin critique, une deuxième base de pose de voies est implantée en Espagne.

Par ailleurs, les travaux de pose de voies et d'équipement dans le tunnel voient leurs moyens renforcés et les tâches s'effectuent, selon une organisation rigoureuse, en coactivité alors qu'elles devaient se dérouler les unes après les autres. Et pour accélérer de plusieurs

mois la réalisation des bétons sur voies et des quais, on fait appel aux équipes d'Eiffage Travaux Publics qui mettent en œuvre une technique mécanisée innovante. C'est ainsi que le 17 février 2009, TP Ferro dispose des attestations confirmant la livraison dans les délais de l'infrastructure.

Certes, le nouveau calendrier de Figueras-Barcelone diffère la mise en service de la ligne comme les essais en vitesse.

Mais Eiffage et ACS ont voulu, comme d'ailleurs les concédants les y avaient invités, réaliser à la date prévue l'ensemble de leurs obligations contractuelles, à la seule exception de celles que le nouveau calendrier de la connexion sud imposait de différer.

Et TP Ferro s'organise en vue d'une première mise en service jusqu'à la gare provisoire de Figueras prévue pour la fin 2010. □

ABSTRACT

PERPIGNAN-FIGUERAS HIGH-SPEED TRAIN LINE THE SOUTHWEST EUROPE HIGH-SPEED RAIL CORRIDOR

MARC LEGRAND, TP FERRO - EUSEBIO CORREGEL BARRIO, TP FERRO

The history of railway systems has led to very significant specific national features. *This is true for the French and Spanish networks, which differ in their track gauge, direction of traffic, traction current voltage and signalling. One of the challenges of the Southwest Europe high-speed rail corridor, selected in 1993 as a priority project for the trans-European network, is therefore the connection between France and Spain. This is undoubtedly one of the reasons that led to the signature of the Madrid agreement on 10 October 1995 by the two governments. This agreement provides for the construction and operation of the high-speed railway line between Perpignan and Figueras by a concession arrangement. After the Channel Tunnel, this is the second concession arrangement for an international rail project calling on the private sector. □*

LGV PERPIÑÁN-FIGUERAS EL EJE FERROVIARIO DE ALTA VELOCIDAD DEL SUROESTE DE EUROPA

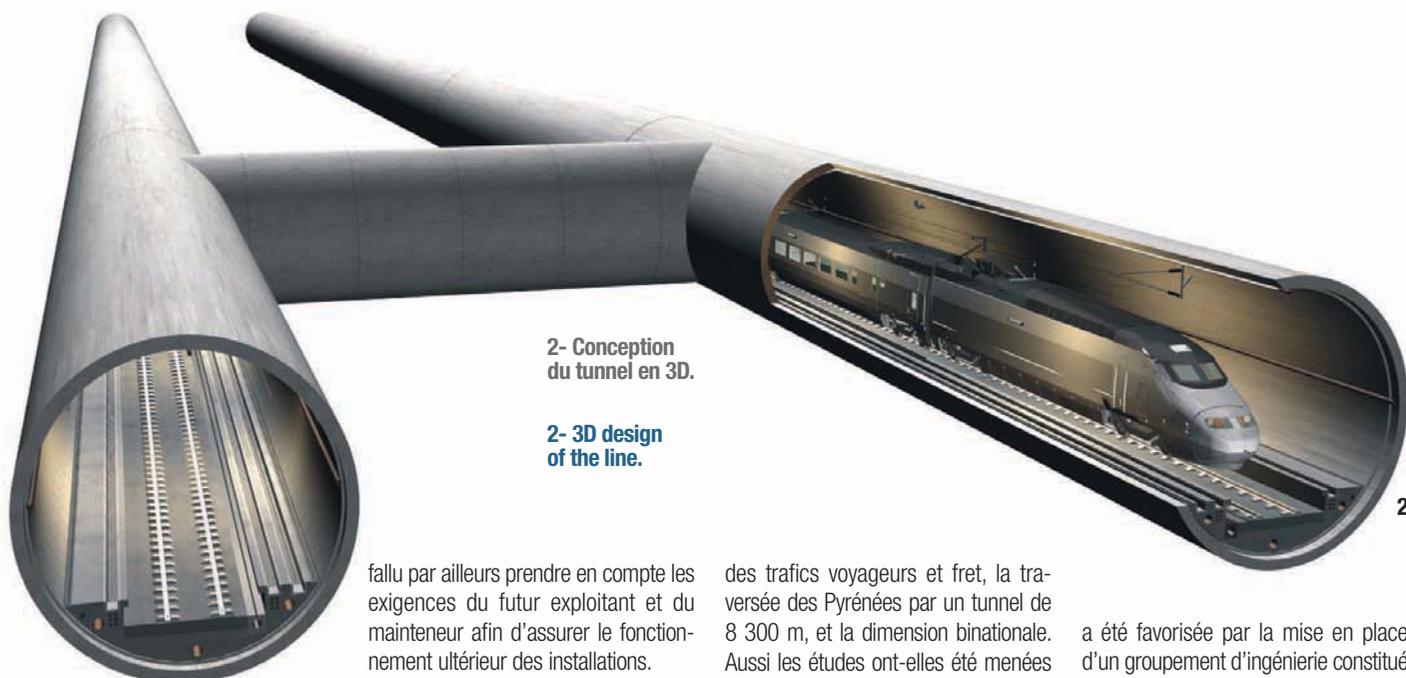
MARC LEGRAND, TP FERRO - EUSEBIO CORREGEL BARRIO, TP FERRO

La historia de los sistemas ferroviarios ha permitido impulsar una dimensión considerable a las especificidades nacionales. *Esto es el caso de las redes francesas y españolas que difieren por la distancia entre ejes, el sentido de circulación, la tensión de la corriente de tracción y la señalización. Uno de los retos del eje ferroviario de alta velocidad del Suroeste de Europa, adoptado en 1993 como un proyecto prioritario de la red transeuropea, es la conexión entre Francia y España. Sin duda uno de estos motivos han conducido a la formalización el 10 de octubre de 1995 por los dos Estados del acuerdo de Madrid. Este último incluye la construcción y la explotación de la línea ferroviaria de alta velocidad entre Perpiñán y Figueras mediante el establecimiento de concesiones. Después del túnel bajo la Mancha, presentamos la segunda concesión de una estructura ferroviaria internacional solicitada ante el sector privado. □*

LA CONCEPTION DE LA LIGNE

AUTEURS : YVES METZ, PRÉSIDENT DU DIRECTOIRE, GROUPE INGÉROP - MARCEL JOURNET, DIRECTEUR FERROVIAIRE, GROUPE INGÉROP

LA DOUBLE VOCATION DE LA LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS (TRANSPORT DE VOYAGEURS ET FRET) AINSI QUE LA NÉCESSITÉ DE RESPECTER À LA FOIS LES NORMES FRANÇAISES ET ESPAGNOLES ONT REPRÉSENTÉ UN DOUBLE DÉFI POUR LES ÉQUIPES DE CONCEPTION. LA MISE EN PLACE D'UN GROUPEMENT D'INGÉNIÉRIE INTERNATIONALE A PERMIS LA MISE EN OEUVRE DE SOLUTIONS INNOVANTES, DANS LE RESPECT DES EXIGENCES DU CAHIER DES CHARGES.



2- Conception du tunnel en 3D.

2- 3D design of the line.

2

CONCILIER DE MULTIPLES CONTRAINTES

Le règlement de consultation pour le concours de concession était accompagné d'un référentiel qui stipulait pour chaque domaine technique (tracé, terrassement, ouvrages d'art, assainissement, voie, signalisation, caténaires, télécommunications...) les normes de conception et de construction à respecter. Par ailleurs, la ligne ayant fait, préalablement à la signature du contrat de concession, l'objet d'une déclaration d'utilité publique, les fonctionnalités et les principaux éléments de son tracé étaient fixés. Enfin, la concertation avec les services de l'État et les collectivités avait déjà induit des engagements à respecter par le concessionnaire.

Les équipes de conception ont dû concilier les différentes contraintes et imaginer les solutions techniques respectant les objectifs fixés. Il leur a

fallu par ailleurs prendre en compte les exigences du futur exploitant et du mainteneur afin d'assurer le fonctionnement ultérieur des installations.

SÉCURITÉ ET DISPONIBILITÉ

Les objectifs de performance ont été fixés dans le contrat de concession. Ils concernaient à la fois le niveau de sécurité à respecter par la future ligne et des exigences de disponibilité de l'installation. Compte tenu de son côté novateur, la ligne nouvelle permettant à la fois la circulation des trains à grande vitesse à 350 km/h et des trains de fret à 120 km/h, le respect d'un niveau de sécurité GAME (globalement au moins équivalent) a été fixé par référence d'une part à la LGV Méditerranée, d'autre part à des lignes mixtes voyageurs fret parcourues à 220 km/h. La conception a dû démontrer, à toutes les étapes, que des objectifs FDMS (fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité) étaient atteints.

COEXISTENCE DES TRAFICS

La conception du projet présentait trois enjeux spécifiques : la coexistence

des trafics voyageurs et fret, la traversée des Pyrénées par un tunnel de 8 300 m, et la dimension binationale. Aussi les études ont-elles été menées en conciliant ces enjeux pour apporter des réponses spécifiques garantissant le respect des objectifs de sécurité liés à la coexistence des trafics, mais aussi des normes françaises et espagnoles. C'est ainsi qu'ont été choisies des normes communes de géométrie, que les méthodes de pose de voie ont été différenciées de chaque côté du tunnel pour prendre en compte les spécificités des possibilités d'approvisionnement, en rails soudés notamment, et que des solutions communes ont été trouvées pour résoudre les problèmes d'alimentation électrique.

Les innovations ont également porté sur les méthodes de ventilation mécanique des tunnels et ont bénéficié des bonnes pratiques observées dans le domaine routier tant en France qu'en Espagne. Le choix de machines de type Banana-Jet a en effet permis de réduire le nombre d'appareils à installer dans les deux tunnels.

La conciliation des diverses exigences

a été favorisée par la mise en place d'un groupement d'ingénierie constitué d'ingénieries françaises et espagnoles généralistes et d'une ingénierie ferroviaire belge rompue à la pratique des lignes nouvelles. Le partage des missions et les échanges fructueux entre les différents partenaires du groupement, en liaison avec le groupement constructeur, ont permis l'émergence de solutions optimales à chaque problème posé.

MISSIONS DE L'INGÉNIÉRIE

Le groupement Ingérop-Sener-Arcadis ESG-TUC Rail s'est vu attribuer le marché de prestations d'ingénierie du groupement constructeur par signature d'un contrat le 10 mai 2004.

Compte tenu de l'ampleur de la tâche, les études ont démarré dès le début de l'année, puisque les premiers dossiers étaient à fournir le 17 août.

La mission de conception comprend : les documents nécessaires à l'obtention des autorisations administratives (loi sur l'eau, installations classées...), le projet ▷



3

de base, les dossiers de sécurité préliminaires du tunnel du Perthus et ceux précédant la mise en service, et enfin le projet détaillé par système (voire par sous-système).

Le processus de production des projets des équipements ferroviaires est totalement adapté à l'organisation mise en place par le groupement constructeur. En effet, si, dans une procédure classique, l'ingénierie réalise sa conception détaillée puis consulte les fournisseurs d'équipements sur la base de ses choix, dans le cadre d'une conception-réalisation, en revanche, l'ingénierie adapte sa conception aux équipements que les fournisseurs envisagent de mettre en place, tout en respectant les normes en vigueur. Le détail du processus de production est donc le suivant :

3- Sortie du tunnel du Perthus.

4- Vue partielle de la LGV.

3- Portal of Perthus Tunnel.

4- Partial view of the line.

- Proposition de cahier des charges et d'exigences fonctionnelles, de choix techniques et de méthodes sur la base du cahier des charges de concession ;
- Validation par TEP ;
- Conception de l'ingénierie, qui apporte ses réponses techniques et spécifications détaillées ;
- Consultation des fournisseurs ;
- Intégration des propositions des fournisseurs ;
- Finalisation des projets détaillés.

SUPERVISION DES TRAVAUX

La supervision des travaux comprend le suivi de la qualité (examen des procédures, des PAQ, levée des points d'arrêt, examen des mesures et essais), le contrôle des plans de respect de l'environnement par les entreprises, le suivi de l'avancement des travaux et du planning, l'organisation des opérations préalables à la réception et la mise en forme des dossiers de récolement.

Cette supervision n'inclut pas les relations avec les tiers (riverains, conseils généraux), les sujétions liées au foncier (acquisitions des emprises ou opérations liées au réaménagement foncier), ni le suivi financier des contrats de travaux (gestion des marchés, analyse de prix nouveaux ou de réclamations financières des entreprises).

RÉPARTITION DES TÂCHES

L'idée directrice était d'utiliser au mieux les compétences des quatre sociétés, mais aussi de tenir compte des sys-

tèmes nationaux avec des approches, méthodes et usages parfois différents de chaque côté des Pyrénées. Tout cela en respectant bien sûr les réglementations européennes.

Ingérop est le mandataire représentant le groupement sur le plan administratif et financier, et dirige le comité de pilotage. La société a par ailleurs fourni la direction de projet, le chef de projet, est intervenue sur le génie civil de l'air libre France, et a dimensionné la ventilation des tunnels. Elle a fourni le chef de projet pendant la première période de production intense du projet de base et des projets détaillés du génie civil, ainsi que pendant les dernières phases où une relation étroite avec le client a été assurée par une personne basée à Figueras. La société Sener intervenait sur le génie civil de l'air libre Espagne, le génie civil du tunnel et les équipements. Arcadis intervenait sur le génie civil des deux tunnels, avant-tunnels, barreaux liaison et de la galerie de reconnaissance qui a permis d'apprécier la nature des terrains dans les zones de failles. De plus, Arcadis avait à sa charge l'ensemble des prestations géotechniques de l'air libre côté France ainsi que celui du tunnel. TUC Rail avait partiellement en charge les équipements ferroviaires ainsi que la coordination des équipements.

Le souci de la qualité a conduit à imposer un contrôle externe aux études du projet détaillé. Pour les installations ferroviaires, les équipements et le tunnel, sujets sensibles s'il en est,



4

ce contrôle est croisé, c'est-à-dire qu'il est effectué par une autre société que celle qui a établi les documents. Cela a été possible grâce à la redondance des compétences au sein des sociétés. Par ailleurs, différents types d'audit qualité ont été organisés : interne à chaque société, organisé par TEP, et organisé par l'organisme notifié.

ORGANISATION DE L'INGÉNIERIE

L'objectif consistait à trouver des configurations adaptées à des équipes de production très nombreuses. Pendant les pics de production, plus de 250 personnes intervenaient sur le projet (à temps plein ou partiel), dont 50 chez Ingérop, ce qui a nécessité une gestion fine des ressources. Ces équipes sont par ailleurs éparpillées sur trois pays. Les équipes de chacune des quatre sociétés ont donc été placées sous l'autorité de coordinateurs siégeant à Paris, Madrid et Bruxelles.

D'autre part, les équipes du constructeur et du concessionnaire sont concentrées près du chantier à Figueras.

Ainsi, afin d'optimiser les relations entre le constructeur et l'ingénierie, une équipe de coordination basée à Figueras a été constituée comme suit : un responsable pour les équipements, voies et installations ferroviaires, un pour le tunnel et la géotechnique, un pour l'air libre en Espagne, et un pour l'air libre en France, issu d'Ingérop. Cette configuration est calquée sur celle des chantiers du groupement constructeur. Elle permet de mettre en face des ingénieurs spécialisés dans chaque discipline et d'assurer la meilleure synergie entre les entités.

MISSIONS D'ACCOMPAGNEMENT D'INGÉROP

Elles concernaient la section air libre France, soit 17,3 km entre le raccorde-

ment de Perpignan et la tête du tunnel, et comprenaient :

→ La définition et le suivi de la campagne topographique ;

→ L'archéologie ; définition des emprises ;

→ L'hydraulique des cours d'eau et protections, assainissement et drainage, dossier loi sur l'eau ;

→ Les consultations : préparation des documents et participation aux côtés du client à la consultation des autorités locales et des communes traversées. Les efforts conjugués du constructeur et de l'ingénierie ont permis de s'adapter au mieux aux demandes des riverains et aux projets futurs, tout en respectant l'impératif économique ;

→ L'environnement : faune, flore. Mesures d'accompagnement et respect des engagements de l'État, et de ceux pris pendant la phase consultation, dossiers de défrichement ;

→ Les études acoustiques et définition des protections : écrans, merlons et protections de façades.

PRÉPARATION DU PROJET DE BASE ET DU PROJET DÉTAILLÉ : MISSION 1

En France, la section comporte 34 ouvrages d'art : quatre viaducs ferroviaires, trois ouvrages non courants (deux sauts-de-mouton et un portique triple), cinq ponts à poutres préfabriquées, treize cadres en béton armé et neuf ponts-routes (dalle BA ou BP). Les passages inférieurs ont fait l'objet d'études dynamiques poussées.

L'ensemble, y compris les fondations, a été dimensionné, en liaison avec Arcadis, pour les effets sismiques qui ne sont pas négligeables dans la zone. Ingérop est intervenu au niveau des :

→ Bâtiments techniques à la tête nord du tunnel et de la sous-station de Perpignan ;

« PENDANT LES PICS DE PRODUCTION, PLUS DE 250 PERSONNES INTERVENAIENT SUR LE PROJET »

→ Études géométriques et tracé de la section France et du tunnel. Études des plates-formes et des terrassements en liaison avec Arcadis ;

→ Étude de la tête nord du tunnel : avant-tunnels, plates-formes d'accès et de stockage, réseaux. Il est rappelé que le dimensionnement des sections libres des souterrains et des têtes de tunnels tient compte des effets de souffle et de variation des pressions ;

→ Études de ventilation et de désenfumage des tunnels et des rameaux de communication : calculs 2D et 3D, dimensionnement des ventilateurs, scénarios d'exploitation. Ces études, faites en liaison avec Sener, ont alimenté les dossiers préparés par TUC Rail pour la commission de sécurité.

Les études sont basées sur un système complexe puisqu'il s'agit des deux tunnels et de tous les rameaux de communication. Par ailleurs, il convient d'envisager tous les cas de figure d'incidents ou d'arrêts des trains et d'évacuation des voyageurs, avec prise en compte des trajets des fumées. Une recherche d'optimisation a été conduite. Elle a porté sur le positionnement dans la section du tunnel, la possibilité d'une configuration dissymétrique, l'utilisation de « boosters » performants, le paramétrage en fonction des pressions aux têtes.

LA MISSION DE SUPERVISION

Afin d'assurer efficacement la mission de supervision, il a été important d'identifier clairement la relation entre TEP (groupement de conception-construction) et ingénierie d'une part, TEP et entreprises de construction d'autre part. De plus, l'ingénierie n'ayant pas de pouvoir de décision sur les aléas financiers, l'accord de TEP a été nécessaire pour tout sujet ayant une incidence financière, ce qui a réduit les marges de manœuvre pour adapter le projet. □

ABSTRACT

DESIGN OF THE LINE

YVES METZ, GROUPE INGÉROP - MARCEL JOURNET

The dual role of the Perpignan-Figueras line (for both passenger and freight transport) and the need to comply with both French and Spanish standards represented a twofold challenge for the design teams. By setting up an international engineering consortium it was possible to employ innovative solutions, in compliance with the requirements of the technical specifications. □

ESTABLECIMIENTO DEL CONCEPTO DE LA LÍNEA

YVES METZ, GROUPE INGÉROP - MARCEL JOURNET

La doble vocación de la línea Perpiñán-Figueras (transporte de viajeros y cargas) así como la necesidad de respetar simultáneamente las normas francesas y españolas han representado un doble desafío para los equipos de concepción. La implementación de una agrupación de ingeniería internacional ha permitido la puesta en obra de soluciones innovadoras, según el respeto de las exigencias del pliego de condiciones. □

CONCERTATION ET MAÎTRISE DES EMPRISES FONCIÈRES

AUTEUR : MICHEL OLEO, DIRECTEUR DE PROJET DE LA PLATE-FORME EXTÉRIEURE FRANCE, EIFFAGE TP

LE CONCESSIONNAIRE TP FERRO A CHARGÉ LE GROUPEMENT CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR DE L'OBTENTION DE L'ENSEMBLE DES AUTORISATIONS ADMINISTRATIVES NÉCESSAIRES AU PROJET, DE LA CONCERTATION ET DE LA MAÎTRISE FONCIÈRE. AU SEIN DE CE GROUPEMENT, EIFFAGE TP EST RESPONSABLE DE LA BONNE EXÉCUTION DE CETTE MISSION DU CÔTÉ FRANÇAIS. CECI VENANT SE RAJOUTER À SA RESPONSABILITÉ DE BASE D'EXÉCUTANT DE LA PLATE-FORME FERROVIAIRE ET DES OUVRAGES D'ART SUR LA MÊME PORTION DU PROJET.

L'ENJEU CONCERNE, D'UNE PART, LES 17,3 KM DE PLATE-FORME FERROVIAIRE EXTÉRIEURE, DEPUIS LA TÊTE NORD DU TUNNEL DU PERTHUS JUSQU'AUX EXTRÉMITÉS DES RACCORDEMENTS FERROVIAIRES À PERPIGNAN ET D'AUTRE PART, LES 7,3 KM DE TUNNEL EN TERRITOIRE FRANÇAIS.



1- Limite Nord de la LGV et début des raccordements à Perpignan.

1- The northern limit of the high-speed train line and the beginning of connections in Perpignan.

LA CONCERTATION

Dans la prolongation du débat public ayant été organisé par l'État préalablement à la déclaration d'utilité publique (DUP), l'obligation de concertation qui est faite au concessionnaire figure

dans le Dossier des engagements pris par l'État.

Elle consiste à intégrer les collectivités locales, les riverains, les associations ainsi que les organismes socioprofessionnels concernés, dans le processus

de finalisation du projet. Cette phase ayant pour conséquence de figer les emprises, elle impose de fait une organisation qui nécessite une coordination permanente avec l'équipe chargée de la maîtrise foncière.

IMPACT SUR LE PROJET

Par rapport au tracé de l'avant-projet sommaire (APS) réalisé par l'État, les possibilités de variantes qui s'offrent aux concepteurs sont limitées, du moins en ce qui concerne la plate-forme ferro-



viaire proprement dite. En effet, le tracé en plan est conditionné par les très importants rayons de courbure liés à la grande vitesse. Quant au profil en long, il est lui aussi conditionné par les faibles pentes autorisées par l'activité fret de la ligne (LGV mixte). Les arbitrages faits par l'État par rapport aux habitations et aux enjeux environnementaux se trouvent donc rapidement confirmés dans leur ensemble.

Ce qui reste à déterminer ou à finaliser concerne plutôt le positionnement et la géométrie des rétablissements de communication, le positionnement des bassins, les zones de stockage des matériaux excédentaires.

Néanmoins, il a été décidé d'abaisser de 1,5 m le profil en long de la plate-forme dans le secteur de la commune de Villemolaque, où de fortes préoccupations des riverains et élus s'étaient manifestées concernant les nuisances sonores potentielles. Cette adaptation ayant été possible à travers le choix conceptuel de modifier le viaduc de franchissement de l'autoroute A9 : le tablier béton sur bipoutre métallique initialement prévu est remplacé par un tablier béton à poutres métalliques latérales.

ORGANISATION DE LA CONCERTATION

La concertation a été organisée à deux niveaux et en trois phases :

→ Au niveau départemental, avec le Conseil général pour les rétablissements des RD et les acteurs des organisations professionnelles agricoles pour l'ensemble du tracé ;

→ Au niveau communal, pour l'ensemble des sujets liés aux rétablissements, aux désenclavements et aux emprises d'une manière générale.

Une première phase de contact avec les élus d'une part, et les services techniques d'autre part, a été réalisée dans les trois mois suivant l'attribution du contrat de concession, afin de présenter l'organisation mise en place et le projet initial, cette première phase étant voulue comme une phase d'écoute. Les dossiers de définition du projet sont déposés en mairie à disposition du public.

La deuxième phase, mise en œuvre dans les six mois, consiste à présenter aux élus et aux services techniques le projet modifié, ainsi que les réponses apportées à leurs préoccupations ou remarques exprimées lors de la première phase. Des fascicules détaillés établis par commune sont alors disponibles en mairie à l'attention du public. La troisième phase, lancée après les neuf premiers mois, est une phase de concertation publique, organisée avec les communes et réunissant les riverains, leurs élus et les associations. Cette dernière présentation met particulièrement l'accent sur les mesures de protection acoustique et l'insertion paysagère. Elle laisse place à d'ultimes ajustements de projet tels que la mise en œuvre concertée de modèles paysagers complémentaires dans les sites sensibles.

Au niveau de la programmation par rapport au planning de la maîtrise foncière, la phase 1 a été réalisée juste avant la première enquête parcellaire (qui

participe à l'information des riverains), la phase 2 juste avant la deuxième enquête parcellaire (pour compléments d'emprises), le choix ayant été fait dès le départ que deux enquêtes seraient organisées afin de sécuriser les acquisitions des terrains. À noter que la concertation revêt un aspect particulier au niveau des voies de raccordements ferroviaires de Perpignan, en devenant une gestion d'interface technique et contractuelle entre les deux maîtres d'ouvrage (RFF réalisant le projet des installations terminales de Perpignan) En phase de conception, la concertation a été menée par Georges Tura et par le directeur de projet de la Plate-forme France, l'ingénierie intervenant à la demande et participant aux diverses réunions.

LA MAÎTRISE FONCIÈRE LES ENJEUX

Au vu des délais extrêmement tendus de cette opération, l'objectif (qui a été atteint) consistait à maîtriser une surface suffisamment importante d'emprise afin de permettre un démarrage effectif (et continu) des travaux de grands terrassements au quinzième mois après la signature du contrat de concession, ce délai correspondant par ailleurs à l'obtention de la principale autorisation administrative devant être obtenue préalablement aux travaux, à savoir l'arrêté préfectoral au titre de la loi sur l'eau.

Les emprises à acquérir concernent : → D'une part, 230 ha de terrains principalement agricoles (vignoble AOC notamment) ;

→ D'autre part, le tréfonds sous le massif des Albères nécessaire à la réalisation des 8 km de tunnel en territoire français.

Les emprises nécessaires au projet doivent être acquises pour le compte de l'État.

L'ORGANISATION

Afin de procéder aux acquisitions des terrains, une équipe a été constituée sous la supervision de la direction de projet de la Plate-forme France et qui, en période de pointe, comprenait quatre personnes de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire (SCET), partenaire opérateur foncier choisi pour le projet, et quatre personnes mobilisées par Eiffage TP.

Au-delà des acquisitions, cette équipe est chargée de faciliter d'une manière plus générale, et en amont des travaux, l'accès aux emprises pour les brigades topographiques et les prestataires procédant aux reconnaissances géotechniques, puis les équipes de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP) procédant au diagnostic archéologique préventif.

Ces accès avant travaux étant rendus possibles, d'une part au moyen d'arrêtés préfectoraux d'occupation temporaire et d'autre part, via des conventions signées à l'amiable avec les propriétaires et les exploitants. Préalablement aux enquêtes parcellaires, les plans et états parcellaires sont établis par le cabinet FIT, prestataire choisi pour le recueil des données topographiques nécessaires à la conception. Ultérieurement, pour les phases de piquetage des emprises et de l'établissement des documents d'arpentage, une collaboration locale avec le cabinet Ferrier-Leduc-Boyer s'est établie afin de mieux profiter de leur réactivité liée à leur implantation locale.

LES PROTOCOLES

De manière à faciliter les négociations amiables, le principe d'établir des protocoles indemnitaires a été décidé dès le début de l'opération, en partenariat avec les organisations professionnelles agricoles (Chambre départementale d'agriculture, Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles) d'une part, et les services fiscaux d'autre part. Les protocoles suivants ont été successivement établis :

→ Protocole fixant les indemnités relatives aux conséquences des interventions des équipes topographiques et géotechniques (reprise d'un protocole utilisé pour les études faites par l'État préalablement à la DUP) ;



3

→ Protocole fixant les indemnités consécutives à la réalisation des diagnostics archéologiques préventifs (à noter que l'intervention de l'INRAP dans le vignoble nécessite de couper au ras du sol l'ensemble des pieds de vigne) ;

→ Protocole fixant les valeurs des terrains et du capital végétal, ainsi que les indemnités annexes (indemnités de privation de jouissance, indemnités de réemploi...);

→ Protocole relatif aux dommages de travaux publics.

En ce qui concerne le problème particulier d'acquisition des tréfonds pour la réalisation du tunnel du Perthus, les plans parcellaires ont été établis en considérant, d'une part, les emprises

techniques correspondant aux enveloppes extérieures des deux tubes augmentées des distances maximum de traitement potentiel des matériaux et d'autre part, un tableau récapitulatif le profil en long du tunnel (augmenté des travaux de confortement).

Ceci a permis de classer les états parcellaires par tranche altimétrique, le tréfonds étant alors acquis pour chaque parcelle à partir d'une cote donnée du sous-sol. Les services fiscaux ont établi pour l'occasion un barème fixant les indemnités de tréfonds en fonction de la profondeur de travaux. Quatre tranches de profondeur par rapport au terrain naturel ont été déterminées de la manière suivante :

→ De 0 à 3,50 m

3- La LGV à la sortie Nord du tunnel et le poste de contrôle local.

3- The northern portal of Perthus Tunnel and local signalling control station.

- De 3,50 m à 30 m
- De 30 m à 180 m
- Au-delà de 180 m.

LA CONVENTION FONCIÈRE AVEC RFF

À l'extrémité nord de la concession, les deux voies de raccordement au réseau ferré à Perpignan s'inscrivent dans le cadre d'un projet simultané, sous maîtrise d'ouvrage de RFF : les installations terminales de Perpignan.

Il est rapidement apparu que de nombreuses parcelles se trouvaient impactées par les deux projets.

Afin de gérer au mieux cette interface sans impacter les délais, les deux maîtres d'ouvrage ont rapidement établi une convention selon laquelle RFF interviendrait comme seul acteur de la maîtrise foncière (enquête parcellaire au seul bénéfice de RFF) avec rétrocession in fine à TP Ferro des terrains ayant vocation à appartenir au domaine ferroviaire concédé.

LES PROCÉDURES

Les procédures d'expropriation sont tout particulièrement longues et leur calendrier difficilement maîtrisable. Aussi convient-il, pour ces opérations de grandes infrastructures linéaires, de les amorcer dès que le retour de la négociation amiable identifie des difficultés réelles à conclure, étant bien entendu que le processus de négociation amiable se poursuit tout au long du déroulement de la procédure.

Sur la Plate-forme France de Perpignan-Figueras, 5 % des dossiers ont été notifiés en procédure d'expropriation. In fine seulement 3 % de ces dossiers ont nécessité l'application de l'intégralité de cette procédure. □

ABSTRACT

COORDINATION AND MANAGEMENT OF LAND REQUIREMENTS

MICHEL OLEO, EIFFAGE TP

The concession operator TP Ferro assigned responsibility to the designer-constructor consortium for obtaining all the administrative permits necessary for the project, for consultation and for land management. Within this consortium, Eiffage TP is responsible for satisfactory performance of this assignment on the French side. This is in addition to its basic responsibility for execution of the railway track subgrade and tunnels and bridges on the same portion of the project.

The challenge concerns, on the one hand, the 21.9 km of above-ground railway track subgrade, from the northern portal of Perthus Tunnel up to the ends of the railway connections in Perpignan and, on the other hand, the 7.3 km of tunnel in French territory. □

CONCERTACIÓN Y CONTROL DE LAS ZONAS DE DOMINIO

MICHEL OLEO, EIFFAGE TP

La empresa concesionaria TP Ferro ha encargado a la agrupación de concepción y construcción la obtención de todas las autorizaciones administrativas necesarias para el proyecto, la concertación y el control de las zonas de dominio.

En el marco de la agrupación, Eiffage TP es responsable de la correcta ejecución de esta misión por el lado francés, y ello viene a añadirse a su responsabilidad de base como ejecutante de la plataforma ferroviaria y de las obras de fábrica en el mismo tramo del proyecto.

El reto se refiere, en primer lugar, a los 21,9 km de plataforma ferroviaria exterior, desde la cabeza norte del túnel de Le Perthus hasta los extremos de las conexiones ferroviarias en Perpiñán y, en segundo lugar, a los 7,3 km de túnel en territorio francés. □

LGV PERPIGNAN-FIGUERAS : LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

AUTEURS : PATRICE CHARDARD, DIRECTEUR TECHNIQUE, FOUGEROLLE-BALLOT - JACQUES GUICHARD, DIRECTEUR DE TRAVAUX, FOUGEROLLE-BALLOT

LE PROJET DE LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS PRÉVOIT DE RELIER LE COULOIR À GRANDE VITESSE MADRID-BARCELONE-PERPIGNAN AU RÉSEAU EUROPÉEN GRÂCE À SA CONNEXION AU RÉSEAU FRANÇAIS ET À L'AMÉNAGEMENT DES VOIES AU STANDARD EUROPÉEN UIC. LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT DE LA PLATE-FORME FRANCE CONCERNENT 17,3 KM DE LIGNE À GRANDE VITESSE ET 7 KM DE VOIES DE RACCORDEMENT. DE NOMBREUX OUVRAGES D'ART ET OUVRAGES HYDRAULIQUES, LA TRAVERSÉE DE LA RN9 ET DE L'A9, UN MOUVEMENT DES TERRES AU NORD ET DES MATÉRIAUX FINS À L'ÉTAT SEC CARACTÉRISENT CE CHANTIER. LES TRAVAUX, QUI ONT EU LIEU DE MAI 2005 À JUILLET 2007, AURONT NÉCESSITÉ 120 MACHINES POUR UNE PUISSANCE DE 32 000 CV.



1- Déblai D16.8
dans le miocène.
1- Earth cut D16.8
in the Miocene.

LA PLATE-FORME FRANCE

Le lot SG2 de la plate-forme extérieure France représente 17,3 km de voies LGV et un total de 7,5 km pour les deux voies de raccordement à la sortie de Perpignan (figure 2). Eiffage TP est chargé de la réalisation

des ouvrages d'art soit : neuf ponts-routes, cinq ponts à poutres préfabriquées, treize cadres, deux sauts-de-mouton, cinq ouvrages non courants (quatre viaducs et un multicadre). Fougerolle Ballot terrassements réalise les travaux de la plate-forme : terrassements, assainisse-

ment avec SGTN et rétablissements de communication (encadré : principales quantités).

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le tracé traverse essentiellement la grande plaine d'effondrement du

Roussillon, limitée au nord par la faille de Prades (au nord de laquelle se situe le massif des Corbières) et au sud par la faille de Montesquieu (au sud de laquelle se situe le massif des Albères). Ce dernier n'est concerné par le tracé à ciel ouvert qu'à son amorce en partie ▷

nord, au niveau de la tête nord du tunnel du Perthus. Les différents ensembles géomorphologiques distingués au droit du tracé sont les vallées alluviales, principalement la vallée du Réart et la vallée du Tech, la plaine d'épandage au nord de plus basse altitude et les reliefs du pliocène recoupés sur une dizaine de kilomètres. Les matériaux rencontrés sont principalement :

→ Le miocène, formation d'origine fluvio-torrentielle, constituée de fragments de schistes altérés dans une matrice argileuse. Cette formation est seulement présente dans le plus important déblai du chantier au sud (figure 2) ;

→ Le pliocène, formation détritico-fluviatile, constituée d'une alternance de matériaux sablo-limoneux, argilo-marneux et de matériaux plus grossiers ;

→ Les autres matériaux correspondent à des alluvions anciennes ou modernes et à des formations de couverture.

Tous les sols sont classés suivant le GTR en A1, A2, A3, B2, B5, B6 avec, le plus souvent, une fraction supérieure à cinquante millimètres variable entraînant une double classification CiAi à CiBi.

Ils sont en général dans un état hydrique moyennement humide à sec.

L'ensemble du tronçon se situe dans une zone de sismicité faible, classée Ib.

2- Profil en long du projet Perpignan-Figueras.

3- Viaduc sur le Réart.

4- Remblai 12.6 et ruisseau de La Rièrè.

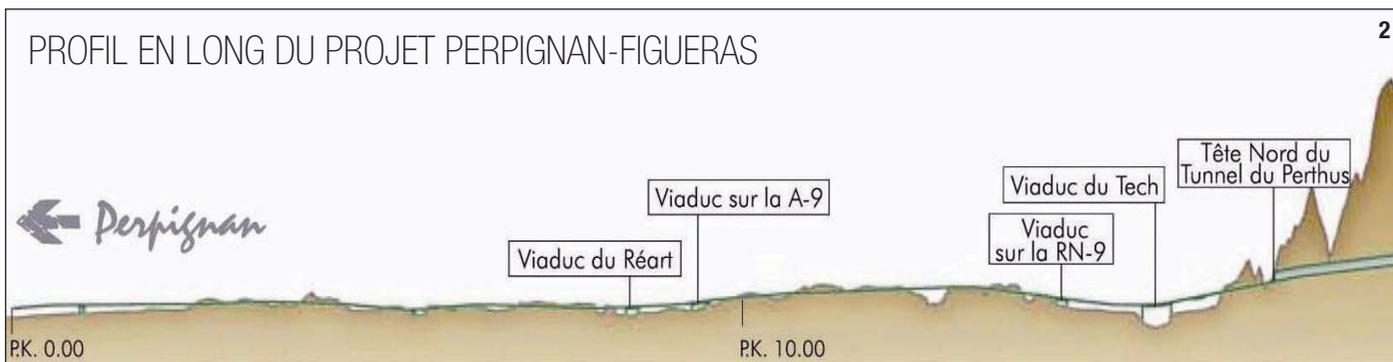
2- Longitudinal profile of the Perpignan-Figueras project.

3- Viaduct over the Réart.

4- Embankment 12.6 and La Rièrè stream.

PHASE PRÉPARATOIRE

Le protocole indemnitaire relatif aux acquisitions foncières a été signé le 13 juillet 2004 entre la chambre d'agriculture, les syndicats agricoles et les services fiscaux. L'enquête parcellaire s'est déroulée du 19 juillet au 6 août 2004. En France, environ 300 dossiers d'acquisitions ont été traités, auxquels s'ajoutent 90 dossiers liés à l'acquisition des tréfonds des domaines sous lesquels sont creusés les deux tubes du tunnel. De nombreuses réunions de coordination ont été nécessaires avec les représentants de l'État et les mairies pour répondre aux questions, définir les



rétablissements de voies de communication et répondre aux souhaits des acteurs locaux. Le projet Perpignan-Figueras est soumis aux strictes exigences environnementales énoncées dans la DUP, les engagements de l'État, et au respect de la loi sur l'eau. Après la prise en compte des contraintes environnementales, TP Ferro a inclus dans le projet des mesures compensatoires ou conservatrices. L'insertion de la ligne nouvelle dans le paysage (photo 3) s'articule autour de quatre axes :

→ Préserver et valoriser le milieu naturel par l'insertion paysagère et les protections acoustiques des habitations ;

→ Définir les différentes structures végétales ;

→ Intégrer l'ouvrage en s'appuyant sur les structures végétales en place et minimiser l'impact sur les riverains ;

→ Optimiser le réemploi des excédents de matériaux.

L'analyse des milieux naturels a permis de déterminer les aménagements du projet, les impacts et les mesures compensatoires adaptées, les moyens de surveillance, d'entretien et d'intervention. Les autorisations nécessaires au démarrage des travaux et aux prélèvements d'eau pour les besoins du chantier ont pu ainsi être obtenues.

Les opérations archéologiques se sont enchaînées en 2004 et 2005 : une quarantaine de sites ont été découverts, beaucoup d'entre eux ont été étudiés, d'autres ont bénéficié de solutions de conservation. Quatre sites ont nécessité des fouilles complémentaires. Des sites néolithiques de près de 5 000 ans avant notre ère et des sites protohistoriques des VI^e et V^e siècles avant J.-C. ont permis de faire une étude approfondie des modes de vie et des peuplements de cette partie orientale des Pyrénées. Les objets mis à jour sont des poteries, des jarres, des silex taillés, ou encore des négatifs de structures de charpente.

RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

Trois types de réseaux d'assainissement sont réalisés : les réseaux de drainage des remblais au droit des zones sensibles et non sensibles, les réseaux superficiels et enterrés de drainage en pied de déblai, et les réseaux de drainage en crête de déblai. Pour les zones où les enjeux qualitatifs et quantitatifs se cumulent, les bassins sont conçus pour le confinement et pour l'écrêtement (Tableau A). Leur capacité varie de 400 m³ à 40 000 m³.

Des zones sensibles ont été identifiées vis-à-vis de la ressource en eau : la plaine de Toulouges sur 4 500 m et la



4

TABLEAU A : BASSINS POUR LE CONFINEMENT ET L'ÉCRÈTEMENT

Type d'aménagement	Nature du dispositif	Fonction principale
Bassin d'écrêtement	Bassin enherbé de type sec	Ouvrage de régulation pour l'écrêtement des débits de pointe
Bassin de confinement de pollution accidentelle	Bassin étanche	Interception et confinement d'une pollution accidentelle
Bassin d'écrêtement et de confinement de pollution accidentelle	Partie inférieure étanche pour le stockage du volume biennal, partie supérieure enherbée	Augmentation du temps d'intervention pour le confinement d'une éventuelle pollution accidentelle



plaine du Tech sur 2 300 m. Ces zones sont équipées de bassins de confinement de la pollution accidentelle, la ligne nouvelle Perpignan-Figueras étant destinée aux passagers et au fret (wagons-citernes...). Pour le rétablissement des écoulements superficiels extérieurs à la plate-forme, cours d'eau, ruisseaux, agouilles et canaux, des ouvrages hydrauliques spécifiques sont mis en place sous la ligne. Au nombre de 56, ils sont dimensionnés pour la crue centennale ou la plus forte crue historique si celle-ci est supérieure (photo 4).

SPÉCIFICITÉS DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Sur les 17,3 km du tracé de la plate-forme France, malgré un relief moins accidenté qu'en Espagne, le nombre d'ouvrages d'art est très important : 28 ponts permettent le franchissement ou le rétablissement de voies de communication et 56 ouvrages hydrauliques permettent la libre circulation du réseau hydrographique. Ces ouvrages sont de véritables chantiers dans le chantier, et constituent autant d'obstacles ou d'interfaces à prendre en compte pour réaliser le mouvement des terres. Le nombre et l'importance de ces ouvrages illustrent les quantités d'eau qui seront collectées par les bassins versants ou la plate-forme LGV (photos 5 et 6).

Quatre passages à gué, dont les plans ont été soumis à la police de l'eau, ont été réalisés sur le Tech, le Réart, la Basse et la Canterrane. Les franchissements de la RN9 et de l'A9 n'ont été possibles qu'après réalisation des viaducs. Le saut-de-mouton pour l'inversion des voies de circulation est très biaisé pour réduire les emprises nécessaires ; sa longueur est de 220 m.

Il est complété au sud et au nord par des murs de soutènement en béton de 440 m au total (photo 7) pour permettre aux voies de revenir au même niveau. En ajoutant les contraintes de délais des acquisitions foncières et des fouilles archéologiques, le mouvement des terres représente un véritable casse-tête sur ce projet où les matériaux sont transportés du sud vers le nord sur une distance moyenne de 7 000 m.

La problématique des matériaux est liée principalement à leur état d'humidité. Moyennement humides à l'état naturel dans les conditions climatiques régionales, ils évoluent à l'extraction vers un état sec. Des moyens importants ont été mis en place sur le chantier pour assurer une humidification des matériaux et un compactage intense.

- 5- Descente d'eau.
- 6- Ouvrages hydrauliques en zone inondable.
- 7- Mur de soutènement du saut-de-mouton, pour l'inversion des voies de circulation.
- 8- Bloc technique en sols traités.
- 9- Réacteur de préparation de lait de chaux.
- 10- Socs pour enfouissement du lait de chaux.

- 5- Water downpipe.
- 6- Culverts in area subject to flooding.
- 7- Flyover retaining wall.
- 8- Technical unit in treated soils.
- 9- Reaction chamber for preparing lime milk.
- 10- Blades for burying lime milk.

« **SUR LES 17,3 KM DU TRACÉ DE LA PLATE-FORME FRANCE, LE NOMBRE D'OUVRAGES D'ART EST TRÈS IMPORTANT** »





8



9



10

Le faible nombre de points de prélèvements d'eau a imposé, là aussi, des moyens adaptés de pompage, de transport et d'arrosage. L'arrosage est par ailleurs indispensable sur les pistes de circulation pour assurer la sécurité sur le chantier et la protection de l'environnement, dans une région où le vent, autant que les engins de terrassement, provoque des envols de poussières et compris sur les secteurs non circulés.

TRAITEMENT DES SOLS

Le réemploi des déblais, entièrement constitués de sols fins, s'inscrit dans une démarche globale de développement durable et de limitation du recours aux matériaux de carrières. Les techniques de traitement des sols ont été appliquées pour les remblais courants pour une faible part, l'insensibilisation à l'eau des matériaux, les blocs techniques de ponts-routes (photo 8), les couches de forme de rétablissements routiers et l'amélioration de la PST.

Ce dernier point est particulièrement intéressant car il constitue une utilisation à grande échelle du traitement au lait de chaux. L'objectif est une amélioration des caractéristiques (recherche d'un IPI minimal et conservation des valeurs d'indice portant après quatre jours d'immersion) des matériaux présents en arase terrassements, tout en maîtrisant parfaitement l'état hydrique du matériau naturel et l'ajout d'eau nécessaire dans la couche.

L'injection du lait de chaux est réalisé à 35 cm de profondeur, et le malaxage est réalisé avec un pulvimixeur de forte puissance pour tenir compte des blocs de 200 mm pouvant être présents dans les matériaux. La texture du produit, « réactif liquide concentré », et son mode d'épandage par enfouissement

dans le sol, « apport simultané de l'eau et du réactif », font du traitement au lait de chaux une technique particulièrement adaptée aux matériaux secs et aux conditions de vent fort de la région (photos 9 et 10).

Le délai global de réalisation de ce projet, 60 mois, a imposé au groupement constructeur une coordination et une gestion des interfaces très étroites entre les différents intervenants. Les travaux de terrassement se sont adaptés non seulement à la nature des matériaux et au mouvement des terres, mais aussi aux contraintes inhérentes d'un grand projet de concession. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉBLAIS :
4 300 000 m³

REMBLAIS :
3 700 000 m³

MATÉRIAUX ÉLABORÉS :
500 000 m³

TRAVERSÉES HYDRAULIQUES :
8 000 ml

COLLECTEURS :
21 000 ml

FOSSÉS :
56 000 ml

VOIES RÉTABLIES :
8 650 ml

VOIES D'ACCÈS DE SERVICE :
7 640 ml

VOIES LATÉRALES :
11 400 ml

ABSTRACT

EARTHWORKS

PATRICE CHARDARD, FOUGEROLLE BALLOT - JACQUES GUICHARD, FOUGEROLLE BALLOT

The planned line between Perpignan and Figueras is designed to link the Madrid-Barcelona-Perpignan high-speed corridor to the European network via its connection to the French network and adaptation of the tracks to the European UIC standard. The earthworks for the subgrade in France cover 17.3 km of high-speed line and 7 km of connecting tracks. Numerous tunnels, bridges and culverts, the crossing of state highway RN9 and the A9 motorway, earthmoving to the north and fine materials in dry conditions are features of this project. The works, which took place from May 2005 to July 2007, required 120 machines with a power of 32,000 bhp. □

LOS TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

PATRICE CHARDARD, FOUGEROLLE BALLOT - JACQUES GUICHARD, FOUGEROLLE BALLOT

El proyecto de línea Perpiñán-Figueras vislumbra poner en comunicación el corredor de alta velocidad Madrid-Barcelona-Perpiñán con la red europea mediante la conexión con la red francesa y la ordenación de las vías según la norma europea UIC. Los trabajos de movimiento de tierras de la plataforma Francia se refiere a los 17,3 km de línea de alta velocidad y los 7 km de vías de conexión. Esta obra se caracteriza por las numerosas obras de fábrica y estructuras hidráulicas, la travesía de la carretera nacional RN9 y de la autopista A9, un movimiento de tierras al Norte y diversos materiales finos en estado seco. Los trabajos, que tuvieron lugar desde mayo de 2005 a julio de 2007, habrán precisado 120 máquinas que totalizan una potencia de 32 000 CV. □



1 - Viaduc du Tech - Fin de la première phase de lancement (septembre 2006).

1 - Tech Viaduct - End of the first stage of launching (September 2006).

LES OUVRAGES D'ART DE LA PLATE-FORME FRANCE

AUTEURS (EIFFAGE TP) : MARC ANDRÉ, DIRECTEUR TRAVAUX OA - SYLVAIN COURDIER, INGÉNIEUR MÉTHODES OA - ZIAD HAJAR, CHEF DU SERVICE TECHNIQUE OA - PATRICK HAVARD, INGÉNIEUR TRAVAUX - JÉRÔME MAGNE C.E.T. - MICHEL OLEO, DIRECTEUR DE PROJET PLATE-FORME FRANCE

LA PLATE-FORME EXTÉRIEURE FRANCE, SITUÉE ENTRE LE RACCORDEMENT AU RÉSEAU FERRÉ À PERPIGNAN ET LE TUNNEL DU PERTHUS, COMPORTE 34 OUVRAGES D'ART (HORS OH D'OUVERTURE INFÉRIEURE À 5 M) RÉALISÉS PAR EIFFAGE TP, SOIT 4 VIADUCS FERROVIAIRES, 2 SAUTS-DE-MOUTON ET UN PORTIQUE TRIPLE, 5 PONTS À POUTRES PRÉFABRIQUÉES BÉTON ARMÉ, 13 CADRES EN BÉTON ARMÉ ET 9 PONTS-ROUTES (DALLE BA OU BP) (FIGURE 2).

CAHIER DES CHARGES

Pour le franchissement des brèches importantes, le constructeur a fait appel à des tabliers métalliques ou mixtes largement utilisés sur les lignes à grande vitesse construites en France : LGV Méditerranée et, récemment, sur la LGV Est, où une vingtaine d'ouvrages métal-

liques ou mixtes ont été réalisés sur les différents tronçons. En ce qui concerne les ouvrages de portées moyennes, le choix du constructeur s'est porté sur des ponts-rails de type ponts à poutres préfabriquées en béton armé. Ces solutions permettent une mise en place sans cintre sur la voie ou le cours d'eau fran-

chis, et offrent un gain de temps dans l'exécution des travaux. Pour les rétablissements routiers et le franchissement de brèches de moindre importance, les solutions classiques de type ponts-dalles et cadres en béton armé ont été retenues. Le cahier des charges techniques de la concession stipulait que des dispo-

sitions étaient à prendre pour satisfaire aux exigences particulières du projet, notamment en ce qui concerne l'objectif de durée de vie de 100 ans, la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (FDMS) de l'ouvrage. Pour les ouvrages d'art, leur conception devait privilégier des structures classi-

ques, durables, simples de conception et largement éprouvées, permettant un entretien minimal compatible avec la maîtrise de la circulation ferroviaire tout en restant esthétiques et bien intégrées dans l'environnement.

CONCEPTION PARASISMIQUE

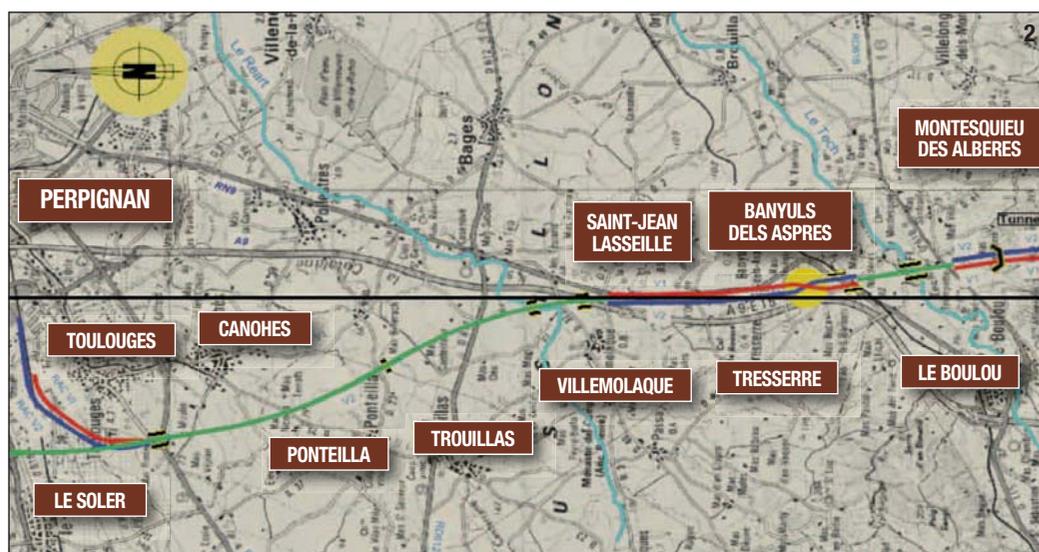
La ligne nouvelle est située en zone

sismique. Les ouvrages ont donc été conçus en application des règles de conception et de réalisation parasismiques en vigueur (zone sismique 1b). Les ponts-rails se caractérisent d'une part par une masse importante des tabliers (poids propre de la structure et poids élevé des équipements ferroviaires), et d'autre part par des appuis peu

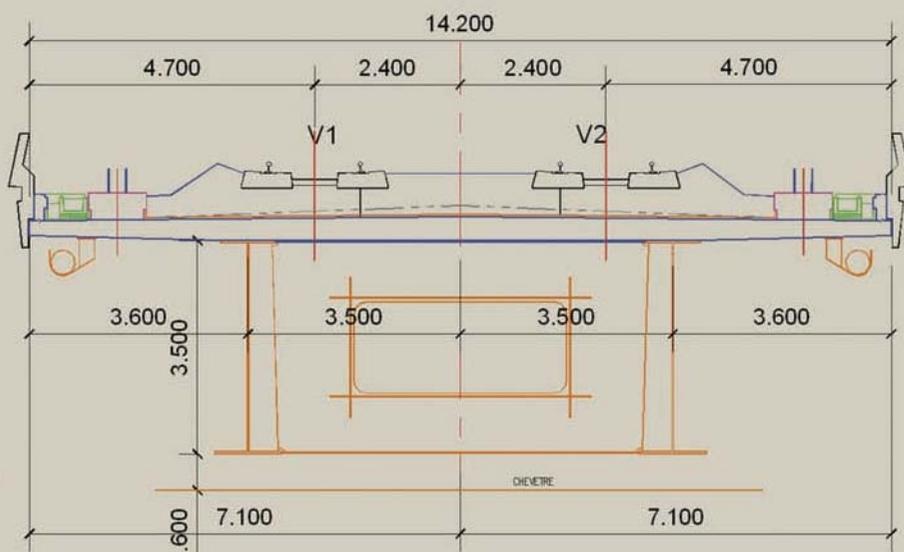
déformables sous l'effet de la circulation des trains (freinage-démarrage notamment). Ces contraintes spécifiques à la conception des ouvrages ferroviaires vont à l'encontre de la souplesse et de la légèreté recherchées en conception parasismique.

Aussi a-t-on retenu pour les viaducs côté France des structures de tablier en

ossature mixte acier-béton beaucoup moins lourde qu'en solution caisson en béton précontraint, dans le but de réduire les effets dus au séisme. Une des particularités de la conception adoptée a été le recours à des dispositifs spéciaux de type ressort-amortisseur précontraint, assurant une double fonction : le blocage longitudinal du tablier sous les efforts de service (freinage-démarrage, interaction voie-ouvrage, effets thermiques...), et la réduction des efforts ultimes transmis aux appuis sous séisme (par dissipation d'énergie) ainsi que le recentrage du tablier après un événement sismique. Lors des études de conception, plusieurs solutions ont été envisagées avec ou sans dispositifs spéciaux, et ont conduit à équiper deux des quatre viaducs de ce type de dispositifs. Cette conception originale présentait un intérêt technico-économique, car elle permettait une réduction substantielle des efforts sismiques transmis aux appuis, et offrait l'avantage de garantir un fonctionnement sûr en service, tout en limitant l'intervention sur les organes d'appui à la suite d'un événement sismique majeur.



VIADUC DU TECH – COUPE TRANSVERSALE



2- Vue en plan du projet de la plate-forme France.

3- Viaduc du Tech – Coupe transversale.

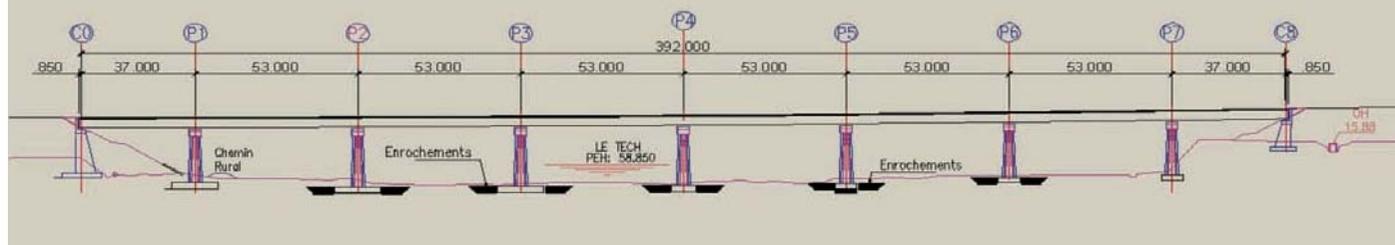
4- Viaduc du Tech – Coupe longitudinale.

2- Plan view of the France subgrade project.

3- Tech Viaduct – Cross section.

4- Tech Viaduct – Longitudinal section.

VIADUC DU TECH – COUPE LONGITUDINALE





COMPORTEMENT DYNAMIQUE

L'étude du comportement dynamique des ouvrages sous passage des convois à grande vitesse revêt une importance particulière. Elle visait à vérifier les critères garantissant la sécurité des convois, la stabilité de la voie (contact rail-roue) et le confort des passagers. La vitesse potentielle de référence considérée dans la conception de la ligne est de 350 km/h. Conformément aux directives des spécifications techniques d'interopérabilité (ST) relatives au sous-système infrastructure, les justifications ont été menées en balayant une plage de vitesse allant jusqu'à 420 km/h, soit une majoration de 20 % de la vitesse potentielle de la ligne. L'analyse dynamique a été conduite en considérant le

5 & 6- Viaduc du Tech – Coffrages des piles (fûts et chevêtres).

7 & 8- Viaduc du Réart – Fin de lançage. Vue des amortisseurs sur les massifs de la culée C0.

5 & 6- Tech Viaduct – Pier formwork (shafts and caps).

7 & 8- Réart Viaduct – End of launching. View of shock absorbers on the abutment foundation blocks.

train dynamique universel A composé de dix convois élémentaires A1 à A10. Les vérifications imposées sont celles du Livret 2.01, qui portent sur les critères suivants :

- Accélération verticale du tablier limitée à 0,35 g ;
 - Gauche du tablier limitée à 1,2 mm sur 3 m ;
 - Rotation maximale aux extrémités du tablier limitée à 3,5 mrad ;
 - La flèche transversale du tablier ne doit pas occasionner une déviation angulaire supérieure à 1.5 mrad ;
 - Limitation des flèches verticales.
- Pour l'ensemble des viaducs, l'analyse est conduite sur la base d'une modélisation 3D de la structure, suivant la méthode de superposition modale en ne considérant que les modes de vibration dont la fréquence est inférieure à 20 Hz.

poutres ferroviaires. La structure mixte du tablier est de conception classique. Elle comprend 2 poutres principales de 3,50 m de hauteur et 7 m d'entraxe, surmontée par un hourdis en béton armé B32, de 14,20 m de largeur et 40 cm d'épaisseur dans sa partie centrale et de 25 cm en extrémité de dalle. L'élanement du tablier est d'environ 1/14 dalle comprise (figure 3).

Le contreventement transversal est assuré par des pièces de pont (diaphragmes) espacées de 9,25 m en travée de rive et de 10,60 m en travée courante, complétées en partie inférieure par un treillis en profilés (entretoises PRS, HEA 180, cornières) reliant les semelles inférieures des poutres. Une passerelle de visite est prévue entre les semelles inférieures. Elle est constituée d'un plancher en caillebotis prenant appui sur le contreventement métallique. Par rapport aux ouvrages similaires réalisés sur la LGV Est européenne, pour lesquels le contreventement inférieur est assuré par des hourdis en béton armé réalisés le plus souvent en dalles préfabriquées, les concepteurs ont privilégié une structure classique en treillis métallique plus légère, principalement pour des considérations sismiques.

TABLIER MIXTES BI-POUTRES : VIADUCS DU TECH ET DU RÉART

Le viaduc du Tech (VIA 15.65) permet le franchissement du Tech par la LGV, rivière qui marque la frontière entre les communes de Tresserre (côté nord) et de Montesquieu-des-Albères (côté sud). Le viaduc du Réart (VIA 8.47) permet le franchissement du Réart entre les communes de Trouillas (au nord) et Villemaoque (au sud). L'harmonisation des travures de ces deux viaducs (travées courantes de 53 m et travées de rive de 37 m) a permis de retenir des caractéristiques quasi-identiques pour la structure du tablier. Le viaduc du Tech comporte 8 travées de : 37 m, 6 x 53 m et 37 m pour une longueur totale entre axes des appuis de 392 m, tandis que le viaduc du Réart est un ouvrage à 4 travées de : 37 m, 2 x 53 m et 37 m pour une longueur totale de 180 m. La gamme de portées retenue est tout à fait habituelle pour des bi-

LES APPUIS

La forme des piles est identique pour les deux viaducs. Elles sont constituées d'un fût de forme octogonale proche du cercle afin de favoriser l'écoulement des eaux, avec un fruit de 3 %, surmonté d'un chevêtre marteau de 3 m de hauteur. Les piles sont visitables depuis un trou d'homme situé dans le chevêtre de chacune d'elles. Un dispositif de protection contre les affouillements est prévu autour des fondations des piles situées dans le lit majeur du Tech. Ce dispositif est constitué d'un tapis

TABLEAU 1 : CYCLE DE RÉALISATION D'UNE PILE

Fondation	Réalisation de la semelle avec le ferrailage de la première levée.
Levée 1	Coffrage et bétonnage de la levée 1.
Levée 2	Démontage du noyau intérieur, Mise en place des échelles et des plates-formes intérieures définitives de visite, Pose du noyau intérieur après ajustement de la géométrie, Mise en place du ferrailage préfabriqué, Mise en place du coffrage extérieur par empilement sur le coffrage de la levée 1, Bétonnage de la levée 2.
Levée 3	Démontage du noyau intérieur, mise en place des échelles et plates-formes de visite, Décoffrage de la totalité du coffrage extérieur (levées 1 et 2), Installation de la plate-forme intermédiaire, Pose du noyau intérieur après ajustement de la géométrie, Mise en place du ferrailage préfabriqué, Coffrage après reconfiguration et bétonnage de la levée 3.
Levée 4	Idem levée 2.
Chevêtre	Décoffrage et mise en place des échelles et plates-formes de visite, Mise en place de la plate-forme en tête de pile, Mise en place des sous-faces du coffrage, Mise en place du ferrailage préfabriqué, Fermeture du coffrage et bétonnage.



d'enrochement mis en œuvre autour des semelles, contre les batardeaux. Les culées sont constituées d'un chevretil filant porté par une file de voiles en patte d'éléphant encastrées dans une semelle fondée superficiellement. Le viaduc du Réart est équipé de six dispositifs parasismiques (ressorts-amortisseurs de type BC fabriqués par la société Jarret) disposés sur la culée C0, dont l'intérêt est une réduction sensible des efforts longitudinaux sous séisme (1 300 t au lieu de 2 900 t). Ils ont été disposés par groupe de trois sur des platines pré-scellées en tête de massifs en béton armé encastrés dans le chevretil de la culée. Les appareils sont coincés entre deux butées métalliques soudées sur une platine générale connectée à la partie en encorbellement de la dalle. L'about de la dalle dans cette zone a été épaissi à 80 cm sur toute sa largeur et sur une longueur de 4 m (figure 4).

Le viaduc du Tech, comporte trois points fixes (piles P1 à P3) dans le sens longitudinal. Transversalement, les déplacements sont bloqués sur la file ouest.

Les fondations des piles en rivière ont été réalisées à l'abri de batardeaux en

palplanches. Les fûts de piles sont réalisés à l'aide d'un coffrage spécifique métallique, permettant des levées de 5 m (tableau 1 et photos 5 et 6).

RÉALISATION DU TABLIER

L'ensemble des éléments métalliques du tablier a été fabriqué à l'usine Eiffel de Lauterbourg, en Alsace, puis livré sur site par convois exceptionnels. Les poutres principales des viaducs du Tech et du Réart ont été découpées respectivement en 15 et 7 tronçons.

L'ouvrage sur le Réart a été assemblé dans son intégralité (avec le contreventement inférieur et le plancher de visite en caillebotis) sur la plate-forme de montage située à l'arrière de la culée C4. Le tablier a donc été mis en place en une seule phase de lancement, à l'aide d'un treuil à câbles ancré sur la plate-forme (photos 7 et 8).

L'ouvrage sur le Tech a été mis en place en deux phases de lancement.

Comme pour l'ouvrage sur le Réart, la charpente était lancée finie (caillebotis et contreventements compris).

Le ferrailage de la dalle composé de cages élémentaires de 14 m de longueur a été préfabriqué au sol dans des gabarits et, pour une partie (hors

9- Viaduc du Réart – Équipements mobiles pour la réalisation du hourdis.

10- Vue aérienne du viaduc du Réart.

11- Viaduc du Tech – Charpente en cours d'assemblage sur plate-forme.

12- Viaduc de franchissement de l'A9 – Vue en plan.

9- Réart Viaduct – Mobile rigs for deck section execution of.

10- Aerial view of Réart Viaduct.

11- Tech Viaduct – Structure undergoing assembly on subgrade.

12- The A9 motorway crossing viaduct – Plan view.

zone d'appuis et de porte-à-faux), posé sur les PRS avant le lancement du tablier métallique.

Le bétonnage de la dalle, par plots de 9,25 m en travées de rive et 10,60 m en travées courantes, a été réalisé à l'aide d'un équipement mobile, suivant la méthode classique de pianotage, en terminant par les plots sur appuis (photos 9 et 10).

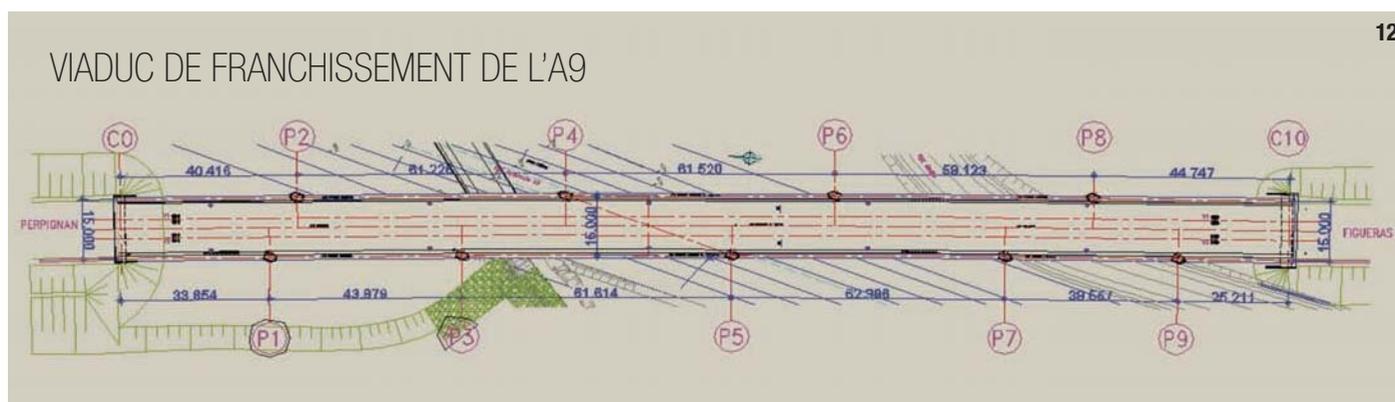
L'équipage mobile est constitué :

→ D'un coffrage intérieur repliable permettant le passage du coffrage dans les alvéoles des diaphragmes. Ce coffrage comprend une rallonge pour traiter les zones de 9,25 m et 10,60 m de long, correspondant à l'espacement des diaphragmes ;

→ D'un coffrage extérieur repris par une poutraison transversale reposant sur les PRS du tablier et composé de deux plateaux en encorbellements ;

→ De deux centrales hydrauliques, une pour le réglage du coffrage extérieur, une pour le déploiement du coffrage intérieur, ainsi que des treuils électriques pour la translation des deux coffrages.

L'utilisation de deux outils coffrant permet le bétonnage d'un plot par jour (photo 9). ▷



**LES TABLIERS RAPL :
 VIADUCS DE FRANCHISSEMENT
 DE L'A 9 ET LA RN 9**

Pour les franchissements de l'A 9 et de la RN 9, dans le but de minimiser les remblais d'accès en vue d'une meilleure intégration de l'ouvrage, on a fait appel à des tabliers réalisés à l'aide de poutres latérales métalliques (RAPL), reliées en partie inférieure par une dalle en poutrelles enrobées disposées transversalement. Ce type de structure est bien adapté aux franchissements avec un biais prononcé et permet une grande souplesse au niveau de l'implantation des appuis. Le viaduc de la RN 9 comporte quatre travées de 27 m, 49 m, 41 m et 27 m pour une longueur totale de 144 m. Celui de l'A 9, d'une longueur de 268,80 m entre axes des culées, comporte cinq travées pour la poutre est et six travées pour la poutre ouest (travée maxi ~ 62 m). (Figure 12). Le tablier du PRA 14.35 supporte deux voies dont l'entraxe est variable de 5,748 m (C4) à 7,696 m (C0). Le tablier est également à largeur variable.

L'entraxe des poutres est de 17,70 m sur la culée nord et 15,75 m sur la culée sud. Celui du VIA 9.41 supporte deux voies de 4,80 m d'entraxe et présente une largeur constante de 15 m entre axes des poutres. La structure du tablier comprend deux poutres métalliques à âme pleine, de 4 m (PRA 14.35) et 4,85 m (VIA 9.41) de hauteur.

La dalle en poutrelles enrobées est constituée de profilés H600 (VIA 9.41) ou H700 (PRA 14.35) reliés aux poutres principales par éclissages boulonnés. L'ensemble des profilés est noyé dans une dalle en béton B32, de 75 cm et 85 cm d'épaisseur respectivement.

LES PILES

Les piles sont constituées de deux fûts indépendants de section oblongue, implantés dans l'axe de chaque poutre. Chaque fût est surmonté par un chevron homothétique de la section de celui-ci. La hauteur des piles varie de 8,11 m à 9,55 m (PRA 14.35) et de 6,24 m à 7,24 m (VIA 9.41).

L'ensemble des appuis du PRA 14.35 est fondé sur semelles superficielles. Les appareils d'appui sont des appuis sphériques fournis par Maurer GmbH. Longitudinalement, les efforts horizontaux sont bloqués sur les piles P1 et P2.

Pour le VIA 9.41, les piles sont fondées sur deux files de trois pieux Ø 1 200 espacées de 3,60 m. La culée C0 est fondée sur deux files de cinq pieux Ø 1 200, tandis que la culée C10, point fixe de l'ouvrage vis-à-vis des effets lon-

13- Viaduc de franchissement de l'A9 – Accostage avant bec sur culée C10 – Vue générale des amortisseurs.

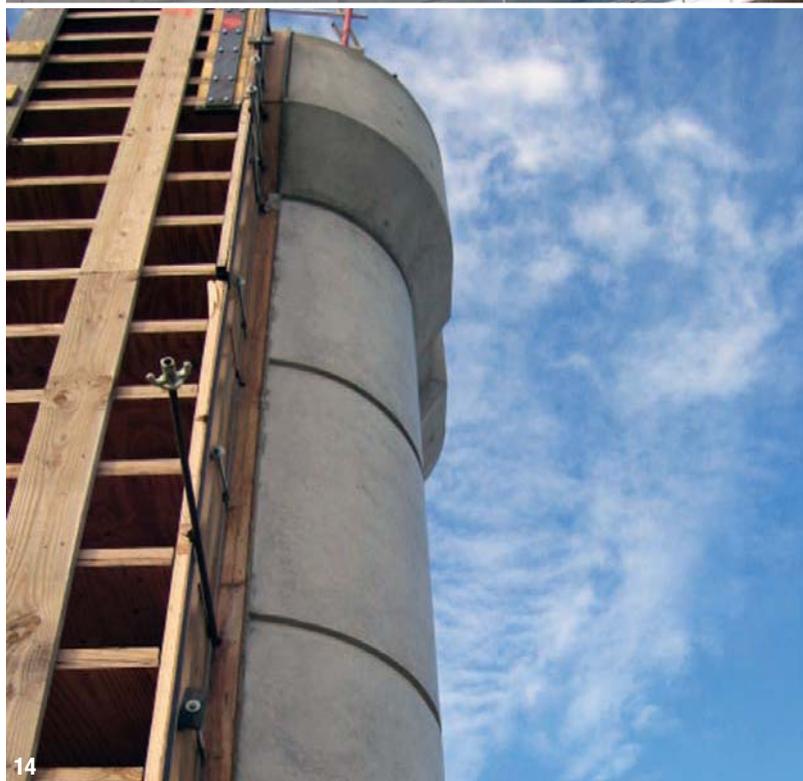
14 & 15- Viaduc de franchissement de l'A9 – Réalisation des pieux forés pour les piles en TPC.

13- The A9 motorway crossing viaduct – Launching nose docking on abutment C10 – General view of the shock absorbers.
 14 & 15- Execution of bored piles for piers on central reserve.

« **LES TABLIERS DES FRANCHISSEMENTS DE L'A9 ET DE LA RN9 ONT ÉTÉ RÉALISÉS À L'AIDE DE POUTRES LATÉRALES MÉTALLIQUES (RAPL) RELIÉS EN PARTIE INFÉRIEURE PAR UNE DALLE EN POUTRELLES ENROBÉES DISPOSÉES TRANSVERSALEMENT** »



13



14



15



16



17



18



19

gitudinaux, est fondée sur trois files de six pieux Ø 1 200. Longitudinalement, les efforts horizontaux sont bloqués sur la culée C10. Transversalement, ils sont bloqués sur les piles de la file ouest. La culée C10, point fixe de l'ouvrage, est équipée de dix ressorts-amortisseurs.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

L'exécution de ces deux ouvrages devait intégrer les contraintes liées à la proximité et au franchissement de voies en service : la RN 9 et la voie ferrée

Elne-Céret pour le PRA 14.35, et l'A 9 pour le VIA 9.41.

Les dispositions constructives et le phasage de réalisation ont été établis en étroite concertation avec les exploitants des différentes voies concernées (ASF, DDE 66, RFF-SNCF..).

Notons en particulier la réalisation des piles P4 et P5 implantées dans le TPC de l'autoroute, qui a nécessité la neutralisation des voies rapides de l'autoroute. Ces deux piles pour le viaduc sur l'A 9, ainsi que cinq piles sur six du viaduc sur la RN 9, ont nécessité la mise en œuvre de parois berlinoises pour la réalisation des appuis (photos 14 et 15).

Les neuf piles du VIA 9.41 et les six piles du PRA 14.35 ont été coulées à l'intérieur d'un coffrage bois spécifique à chaque ouvrage d'une hauteur maximale de 6,65 m.

RÉALISATION DU TABLIER

Le transport des éléments de poutres principales, fabriqués à l'usine Eiffel de Lauterbourg, a été réalisé par des convois exceptionnels. Le poids des éléments atteignait 80 t pour ceux du viaduc sur l'A 9. Pour les deux ouvrages, toute la longueur du pont a été assemblée sur la plate-forme. La mise en place n'a donc nécessité qu'une seule phase de lancement.

Le coffrage perdu entre profilés transversaux et une partie du ferrailage de la dalle sont disposés avant lancement. L'étanchéité entre éléments du coffrage est assurée par application d'un cord-on mastic, et une première phase de bétonnage sur une épaisseur de 15 cm est réalisée dans les zones surplombant les voies en service.

Les lançages des tabliers ont été tous les deux peu ordinaires. Comme indiqué précédemment, l'ouvrage franchissant la RN 9 comporte un tablier de largeur variable. On a donc choisi de lancer l'ouvrage selon un axe parallèle à l'une des poutres, avec des guidages latéraux fixes. Sur l'autre poutre, les appuis de lancement sont équipés d'un système de ripage permettant de maintenir en permanence les chaises de lancement à l'axe de l'âme des poutres.

Ce système était constitué d'un caisson sur lequel pouvait circuler la chaise au fur et à mesure de l'avancement du tablier (photos 16 et 17).

Concernant l'ouvrage sur l'A 9, le poids total à déplacer était d'environ 4 200 t, et l'effort de poussage à mobiliser de l'ordre de 280 t. Aussi, le système habituel de traction (treuil-moufle-câble) a été remplacé par un système de vérins et câbles de précontrainte.

16 & 17- Viaduc de franchissement de la RN9 – Tablier en cours de lancement.

18 & 19- Viaduc de franchissement de la RN9 – Dispositif de lancement sur culée (vérin 12T15s).

16 & 17- RN9 crossing viaduct – Deck undergoing launching.

18 & 19- RN9 crossing viaduct – Pushing system on abutment (12T15s jack).

TABLEAU 2 : SAUTS-DE-MOUTON ET PORTIQUE

Ouvrage	Longueur (ml)	Largeur (ml)	Plots	Hauteur (ml)	Murs en retour
SDM R2 3,40	70,77	9,40	7,95 / 4 x 12,50 / 12,82	8,61	M1 : 38,65 ; M2 : 63,00
SDM 12,92	234,20	9,40	23,00 / 3 x 27,20 / 20,21 / 3 x 27,20 / 27,82	9,44	M1 : 238,81 ; M2 : 231,81

TABLEAU 3 : LE PRA 16.23 (PORTIQUE BA)

Ouvrage	Longueur (ml)	Largeur (ml)	3 travées ; Longueur des plots de voiles :	Hauteur (ml)	Biais / trace LGV (grade)
PRA 16,23	51,96	31,80	12,03 / 2 x 13,95 / 12,03	12,31	137,89

TABLEAU 4 : PONTS À POUTRES PRÉFABRIQUÉES EN BÉTON ARMÉ

Ouvrage	Longueur (ml)	Largeur (ml)	Travée	Hauteur (ml)	Biais / trace LGV (grade)
PRA 0,94	73,40	19,50	10,40 / 4 x 13,00 / 10,40	11,16	103,5
PRA R11,74	43,00	8,50	13,00 / 17,00 / 13,00	9,20	122,41
PRA R2 3,04	43,00	8,10	13,00 / 17,00 / 13,00	8,74	127,32
PRA 5,48	47,88	14,20	14,75 / 17,00 / 14,75	13,87	122,00

TABLEAU 5 : CADRES EN BÉTON ARMÉ

Ouvrage	Longueur (ml)	Largeur (ml)	Plots	Hauteur (ml)	Biais / trace LGV (grade)
Ouvrages hydrauliques					
OH R1 1,57	38,55	9,30	3 x 12,85	5,50	--
OH R1 1,99	38,45	9,40	3 x 12,15	5,70	127,40
OH R2 3,31	19,90	9,20	19,90	5,46	130,22
OH 1,82	14,70	8,20	2 x 7,35	6,84	116,72
OH 3,55	25,86	7,00	7,60 / 12,00 / 7,60	4,37	89,42
OH 8,07	15,10	8,20	2 x 7,55	7,14	77,90
OH 12,61	88,16	9,40	6 x 12,00	7,40	131,44
OH 13,92	53,91	8,70	13,20 / 3 x 10,45 / 9,30	5,16	106,39
Ponts-rails					
PRA 1,59	15,88	6,50	2 x 7,94	8,57	70,46
PRA 2,35	15,43	6,50	2 x 7,72	6,12	74,41
PRA 4,60	14,84	6,40	2 x 7,42	7,40	81,21
PRA 9,00	14,57	10,50	2 x 7,29	7,81	114,45

TABLEAU 6 : LES PONTS-ROUTES

Ouvrage	Longueur (ml)	Largeur (ml)	Travée	Hauteur (ml)	Biais / trace LGV (grade)
PRO R1 0,86	96,10	12,08	11,00 / 14,65 / 19,50 / 22,00 / 15,80 / 11,85	10,89	--
PRO 2,72	45,04	12,58	13,40 / 17,50 / 13,40	10,60	12,00
PRO 3,42	52,00	10,08	16,50 / 20,00 / 15,50	11,66	138,86
PRO 3,85	59,80	6,58	17,95 / 22,40 / 17,95	10,27	52,82
PRO 5,31	41,60	10,08	12,25 / 16,20 / 12,25	10,77	99,03
PRO 6,16	42,78	6,58	12,10 / 17,38 / 12,10	10,88	110,71
PRO 7,37	59,70	12,08	17,44 / 23,46 / 17,44	10,88	70,12
PRO 11,39	52,06	10,08	15,25 / 20,30 / 15,25	11,27	101,62
PRO 13,41	76,04	7,08	13,20 / 2 x 17,80 / 15,00 / 11,50	15,38	101,22

Les torons étaient fixés au bec de traction, à l'arrière du tablier, les vérins sur le chevêtre de la culée C0. Au fur et à mesure de l'avalement des câbles par les vérins, l'ouvrage progressait ainsi par pas de 250 mm. En définitive, le lancement complet de l'ouvrage a demandé une cinquantaine d'heure de travail.

Les amortisseurs ont été installés à leur position définitive sur la culée C10, avant l'opération de lancement, soit sensiblement en sous-face du tablier.

À la fin du lancement, le tablier est descendu à son niveau définitif, par dévêrinage. Les butées métalliques soudées en sous-face du tablier viennent ainsi épouser les dix appareils préalablement disposés par groupe de deux.

Le bétonnage de la dalle est effectué à l'avancement par plot de 20 m.

Après bétonnage de la dalle, le point fixe a pu être assuré par les amortisseurs, qui ont été soudés sur des platines pré-scellées sur le chevêtre de C10 (photos 18 et 19).

groupe de deux sur des platines scellées en tête de massifs en béton armé, encastrés dans le chevêtre de la culée. Les appareils sont coincés entre deux butées métalliques soudées en sous-face du tablier.

Les appareils ont été répartis sur toute la largeur du tablier de manière à atténuer les efforts de flexion engendrés dans l'entretoise d'about renforcée, pour reprendre l'effort transmis du tablier aux appuis (~ 210 t par appareil sous action sisme). La pièce de pont sur culée est constituée d'un caisson à plusieurs alvéoles délimitées par les raidisseurs longitudinaux disposés dans l'axe des butées, et des raidisseurs transversaux permettant la diffusion des efforts vers les poutres principales. Les âmes du caisson sont percées pour le passage des armatures longitudinales relativement denses dans cette zone. Le bétonnage des alvéoles est effectué à travers des ouvertures prévues dans la membrure supérieure du caisson.

COMPORTEMENT SOUS SÉISME

Pour le viaduc de la RN 9, l'étude sismique a été conduite au moyen d'une analyse spectrale multimodale à l'aide d'une modélisation aux éléments finis 3D. Sous séisme longitudinal, un coefficient de comportement d'environ 1.6 a été considéré, et les critères de cohérence ont été vérifiés, et notamment la formation effective de rotules plastiques à la base des fûts des piles P1 et P2 (points fixes) sous la combinaison sismique de dimensionnement.

Pour le viaduc de l'A 9, le choix du point fixe longitudinal a fait l'objet d'une analyse détaillée, et différentes configurations ont été examinées : blocage du tablier sur plusieurs piles (P6 à P9), et appui fixe sur la culée C10. Les efforts horizontaux sous séisme, dans les différents cas envisagés, se révélaient trop importants malgré la multiplication de points fixes.

La stabilisation des piles ou de la culée, selon le cas, nécessitait un nombre important de pieux, et par conséquent des appuis assez lourds. La solution retenue à l'issue de cette étude consiste à disposer dix ressorts-amortisseurs de type BC sur la culée C10. Les efforts longitudinaux sous séisme sont ainsi divisés par un facteur d'environ 3 (environ 2 100 t au lieu de 6 000 t). La disposition des amortisseurs a nécessité des aménagements du coffrage de la culée et de l'about du tablier visant à faciliter le montage, l'entretien et le démontage éventuel des appareils. Ils ont été disposés par

COMPORTEMENT DYNAMIQUE

Pour le viaduc de la RN 9, la réponse dynamique de l'ouvrage sous passage des convois à grande vitesse a fait l'objet d'une étude détaillée visant à vérifier le bon comportement vis-à-vis des critères de confort.

Les résultats de cette étude font apparaître un bon comportement général de ce type de structure. Cependant, les accélérations verticales dépassaient l'accélération maximale admissible de 3,5 m/s² au droit des entretoises d'about du tablier dans la configuration correspondant à l'entrée ou la sortie de certains convois.

Le dépassement était plus ou moins important suivant la méthode d'analyse (superposition modale ou intégration directe) et en fonction du pas de temps considéré. Finalement, deux appuis néoprène ont été disposés transversalement dans l'axe des voies, sous les entretoises d'about.

SAUTS-DE-MOUTON ET PORTIQUE

La section nouvelle Perpignan-Figueras comporte deux ouvrages exceptionnels de type saut-de-mouton. Le premier (SDM R23.40) se situe au nord de la ligne. Le raccordement de la LGV aux installations terminales de Perpignan nécessite le passage de la voie 2 sous la plate-forme au niveau de l'origine de la concession à double voie (prolongement future de la LGV entre Perpignan et Montpellier). L'ouvrage est constitué d'un cadre en béton armé de 71 m



20



21



22



23

de longueur prolongé par des murs de soutènement sur 63 m au nord et 89 m au sud. Le second (SDM 12.92) se situe sur la partie sud du tracé et permet l'inversion des sens de circulation. En effet, le changement de parité des voies est prévu sur le tronçon côté France, permettant aux trains circulant généralement sur la voie de gauche en France de se retrouver sur la voie de droite en Espagne. L'ouvrage permettant le croisement des deux voies atteint une longueur importante compte tenu des angles de franchissement très faibles. Il est constitué d'un cadre en béton armé de 234 m de longueur prolongé par deux murs de soutènement sur environ 240 m au nord et 231 m au sud. D'autre part, pour des considérations aérodynamiques liées à la

circulation à grande vitesse (section d'air minimale à respecter), des ouvertures sont ménagées dans les piédroits du cadre. La réalisation du cadre a nécessité en tout premier lieu le terrassement d'une tranchée afin de pouvoir installer la grue à tour et commencer les travaux de radier. Les travaux du cadre sont organisés en trois postes de travail à l'avancement. Le premier était la réalisation du radier ; le second, les élévations ; et enfin le troisième, la traverse. Deux équipes de production ont été affectées aux travaux, la première pour la réalisation des radiers et des traverses, la seconde pour la réalisation des élévations. Les piédroits sont bétonnés par plots de 13,60 m de longueur, sur toute la hauteur, et réalisés par pianotage à l'aide d'un outil coffrant. Les cages d'armatures sont préfabriquées sur site en deux parties puis mises en place et stabilisées à l'aide de profilés métalliques.

La traverse a été réalisée à l'aide d'une table coffrante et des passerelles de rives équipées de panneaux modulaires. La table coffrante devait permettre, outre un déplacement et un réglage rapide, la libre circulation à l'intérieur du cadre afin de bétonner les piédroits qui se trouvaient isolés entre le chantier du radier et de la traverse, le cadre se situant dans une tranchée. Pour cela, la table a été conçue avec une passe charretière. Les murs ont été réalisés à la suite du cadre. L'équipe qui a réalisé le radier du cadre a enchaîné sur les fondations des murs en retour.

Ensuite, l'équipe des piédroits a enchaîné sur la réalisation des élévations de murs en conservant le même outil coffrant et en l'adaptant à la hauteur des voiles. Le principe de réalisation des élévations des murs en retour est similaire à celui des piédroits.

Cette organisation a permis de tenir les objectifs de trois bétonnages par semaine (tableau 2 et photo 20).

LE PRA 16.23 (PORTIQUE BA)

Au croisement de la RD 618, la LGV est située à environ 17 m de la chaussée. Les contraintes ferroviaires (impossibilité d'implanter un appareil de dilatation) n'ont pas permis de recourir à une solution de franchissement aérienne par un ouvrage ballasté, et imposaient que la voie soit installée sur un remblai.

Le choix de la structure devant supporter une charge de remblai relativement importante s'est porté sur un portique à trois travées de 33 m de longueur et environ 52 m de largeur avec un biais de 138 grades.

- 20- SDM 12,92.
- 21- PRA 16,23.
- 22- PRA 0,94.
- 23- PRA R2 3,04.



24

24- OH 3,55.
 25- PRA 2,35.



25

PRINCIPAUX INTERVENANTS

GROUPEMENT CONSTRUCTEUR - MAÎTRE D'ŒUVRE :
 TEP AEIE (Trans-Euro-Pyrénées)

ARCHITECTES : Architecture NEEL - SADE

GROUPEMENT D'INGÉNIERIE :

INGEROP – SENER – ARCADIS – TUCRAIL

ENTREPRISES :

GÉNIE CIVIL : Eiffage TP

TERRASSEMENTS : Fougerolle Ballot

MÉTAL : Eiffel

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :

BÉTON : BCP (Lafarge)

ACIERS PASSIFS : SAMT

PRÉCONTRAINTÉ : Eiffage TP – département précontrainte

AMORTISSEURS SISMIQUES : JARRET - ETIC

ÉTANCHÉITÉ : SOPREMA

JOINTS DE CHAUSSÉE ET JOINTS GARDE BALLAST : RCA

PRÉFABRICATION DES POUTRES : Lagarrigue précontrainte

ÉTUDES D'EXÉCUTION :

VIADUCS MIXTES : SNCF – IGOA (Métal) – COREDIA (GC)

VIADUCS RAPL : IOA (Métal) – COGECI (GC)

PONTS ROUTE : COGECI-BEA-SIAM

PONTS-CADRES ET PONTS À POUTRES : CERT

SAUTS-DE-MOUTON ET PORTIQUE TRIPLE : STOA – Eiffage TP

En ce qui concerne la traverse du portique, compte tenu des caractéristiques de sol, de l'épaisseur de la dalle (1,40 m sur le tablier central) et des délais, la solution étaieement a été écartée au profit des poutres préfabriquées, réalisées hors du chemin critique. Ces poutres, au nombre de 90 et d'un poids maximal de 40 t, ont été réalisées sur un banc de préfabrication contigu à l'ouvrage. La pose s'est faite à l'aide d'une grue mobile de grande capacité, au rythme de 12 poutres par jour. Le bétonnage de la dalle a été effectué en deux phases (2 000 m³ et 1 700 m³) en utilisant une formule spécifique de béton retardé (tableau 3 et photo 21).

PONTS À POUTRES PRÉ-FABRIQUÉES EN BÉTON ARMÉ

Pour franchir les cours d'eau de moyenne importance, les ouvrages retenus sont des tabliers à trois travées dont le tablier est constitué de poutres préfabriquées en béton armé reliées par un hourdis en BA coulé en place. Ce type de structure permet de s'affranchir de l'étaieement du tablier dans le lit de la rivière et offre un gain de temps dans la réalisation des ouvrages. Il a également été adopté pour des ouvrages de franchissement de voie en circulation (franchissement de la voie ferrée Perpignan- Villefranche, une travée isostatique ; franchissement de la RD 612a, tablier à six travées). Le recours à des poutres en béton armé et non en béton précontraint a été motivé d'une part par les portées modestes de ces ouvrages, et d'autre part par une meilleure maîtrise et une simplification de la préfabrication. Les poutres préfabriquées en béton armé ont des longueurs variant de 9,60 m à 16,50 m.

Les culées sont constituées d'un chevêtre filant porté par un file de voiles encastrées dans une semelle fondée superficiellement.

Les piles sont composées de fûts rectangulaires, coiffés d'un chevêtre intégrant les butées antisismiques et permettant la pose des poutres (tableau 4 et photos 22 et 23).

Le matériel utilisé pour la réalisation de ces ouvrages est le suivant :

→ Coffrage des semelles avec des coffrages manportables de type Péri Domino ;

→ Coffrage des poteaux de culée avec des banches métalliques de type Outinord ;

→ Coffrage des piles et culées (mur de front) avec des banches Péri de type Trio ;

La traverse du portique est une dalle pleine en béton armé composée de poutres préfabriquées en T inversé, posées côte à côte et servant de coffrage pour la dalle coulée en place.

Compte tenu des fortes charges appliquées, l'épaisseur finie de la traverse est de 1,40 m pour le plot central le plus chargé, et de 1 m pour les deux plots latéraux.

Les piédroits, qui reposent sur des semelles superficielles, ont été chacun divisés en quatre plots de 12 m de long, reliés entre eux par des joints à embrèvement.

Les coffrages PERI permettaient de couler les plots sur toute leur hauteur (environ 10 m).

Les armatures ont été préfabriquées dans des gabarits au sol, installées à leur emplacement définitif et retenues par des étais tire-pousse.

→ Coffrage des chevêtres avec un coffrage bois fabriqué sur le chantier ;
 → Le fond de moule des entretoises est constitué d'une boîte à sable sur toute sa surface ;
 → Le coffrage perdu est utilisé pour le tablier entre poutres et pour les faces verticales des entretoises.
 L'enchaînement des travaux est réalisé à l'aide de deux équipes de production, la première étant affectée à la réalisation des appuis et la seconde à l'exécution du tablier.

CADRES EN BÉTON ARMÉ

Les ouvrages hydrauliques ou de rétablissement de voiries modestes, dont l'ouverture droite est comprise entre 5 m et 10 m, sont des ouvrages classiques pour ce domaine de portée, de type cadres en béton armé prolongés par des murs de soutènement en « L ». Ces ouvrages permettent le franchissement de voies circulées ou de cours d'eau, qui sont temporairement déviés durant la réalisation de l'ouvrage.

Satisfaisants de point de vue hydraulique, peu sensibles aux tassements, ils se prêtent à la standardisation de leurs procédés de construction.

Cadres sous remblai : sept ouvrages ;
 cadres ballastés : six ouvrages.

Leurs longueurs varient de 14,20 m pour les cadres ballastés à 100 m pour les cadres enterrés.

Les murs en aile sont fondés sur semelles superficielles munies pour la plupart de bèches nécessaires pour la reprise des effets dynamiques de poussée des terres due au séisme.

Le matériel et les équipes permettant d'enchaîner les travaux de cette famille d'ouvrages sont les suivants :

→ Un outil coffrant de type manportable Péri domino pour les radiers, semelles et rives de dalle ;

→ Des banches de type Péri Trio pour les piédroits et murs, habillées ou non de matrices à galets définies par l'architecte pour rappeler l'architecture locale ;

→ Un étalement de type Mills tours et plateaux pour les dalles.

Une équipe est affectée à la réalisation du cadre et une autre aux murs en retour (tableau 5 et photos 24 et 25).

LES PONTS-ROUTES

L'ensemble des rétablissements routiers au dessus de la LGV sont des ouvrages courants à travées multiples (généralement trois) dont le tablier est constitué d'une dalle pleine en béton armé ou en béton précontraint : tablier en dalle BA, cinq ouvrages ; tablier en dalle BP, quatre ouvrages PRO R1 0.86 – PRO 3.85 – PRO 7.37 – PRO 11.39. Sur neuf ponts-routes, sept sont à trois travées, un à cinq travées et un à six travées.

La conception des ouvrages est identique pour l'ensemble, à savoir des

culées perchées sur bloc technique en sol traité, et des appuis intermédiaires à embase pleine, et un à trois fûts en partie supérieure en fonction de la largeur du tablier. La réalisation de ces ouvrages s'est enchaînée sur le principe d'un déroulement en tiroir (tableau 6).

Trois équipes sont affectées aux travaux : une équipe semelles et appuis, une équipe tablier, et une équipe équipements, corniches, et finitions.

Dans le processus constructif, les fondations sont coffrées avec des coffrages manportables de type Péri Domino, ainsi que tous les relevés et abouts. Les piles sont coffrées avec des banches métalliques de type Outinord, et l'étalement de type passe charretière est réalisé avec du matériel Mills.

Les profilés de franchissement sont des HEB 400 ou HEB 600, et le coffrage d'encorbellement est de type Nony (photo 26).

Les moyens humains et matériels mis en place permettent de bétonner un tablier par mois. □

26- PRO 13,41
pont-dalle.

26- PRO 13,41
slab bridge.



PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 60 000 m³

ACIERS PASSIFS : 8 400 t

PRÉCONTRAÎTE : 55 t

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 6 550 t

26

ABSTRACT

ENGINEERING STRUCTURES FOR THE SUBGRADE IN FRANCE

EIFFAGE TP : MARC ANDRÉ - SYLVAIN COURDIER - ZIAD HAJAR - PATRICK HAVARD - JÉRÔME MAGNE - MICHEL OLEO

The above-ground subgrade in France, located between the connection to the rail network in Perpignan and the Perthus Tunnel, comprises 34 engineering structures (excluding culverts of width less than 5 m) built by Eiffage TP, namely 4 rail viaducts, 2 flyovers and a triple portal structure, five reinforced concrete prefabricated girder bridges, 13 reinforced concrete frames and 9 road bridges (reinforced or prestressed concrete slabs). □

LAS OBRAS DE FÁBRICA DE LA PLATAFORMA FRANCIA

EIFFAGE TP : MARC ANDRÉ - SYLVAIN COURDIER - ZIAD HAJAR - PATRICK HAVARD - JÉRÔME MAGNE - MICHEL OLEO

La plataforma exterior Francia, ubicada entre la conexión con la red ferroviaria en Perpiñán y el túnel de Le Perthus, incluye 34 obras de fábrica (excluyendo los OH de apertura inferior a 5 m) ejecutadas por Eiffage TP, o sea 4 viaductos ferroviarios, 2 bifurcaciones a desnivel y un triple pórtico, cinco puentes de vigas prefabricadas de hormigón armado, 13 cuadros de hormigón armado y 9 viaductos (losa BA ó BP). □

LES OUVRAGES D'ART À STRUCTURE MÉTALLIQUE OU MIXTE

AUTEUR : JEAN-PIERRE GERNER, DIRECTEUR DÉPARTEMENT OUVRAGES D'ART, EIFFEL

LA LGV PERPIGNAN FIGUERAS COMPORTE QUATRE VIADUCS EN STRUCTURE MIXTE, DEUX OUVRAGES BIPOUTRES ET DEUX OUVRAGES À POUTRES LATÉRALES.



1- Viaduc
du Réart
(bipoutre).

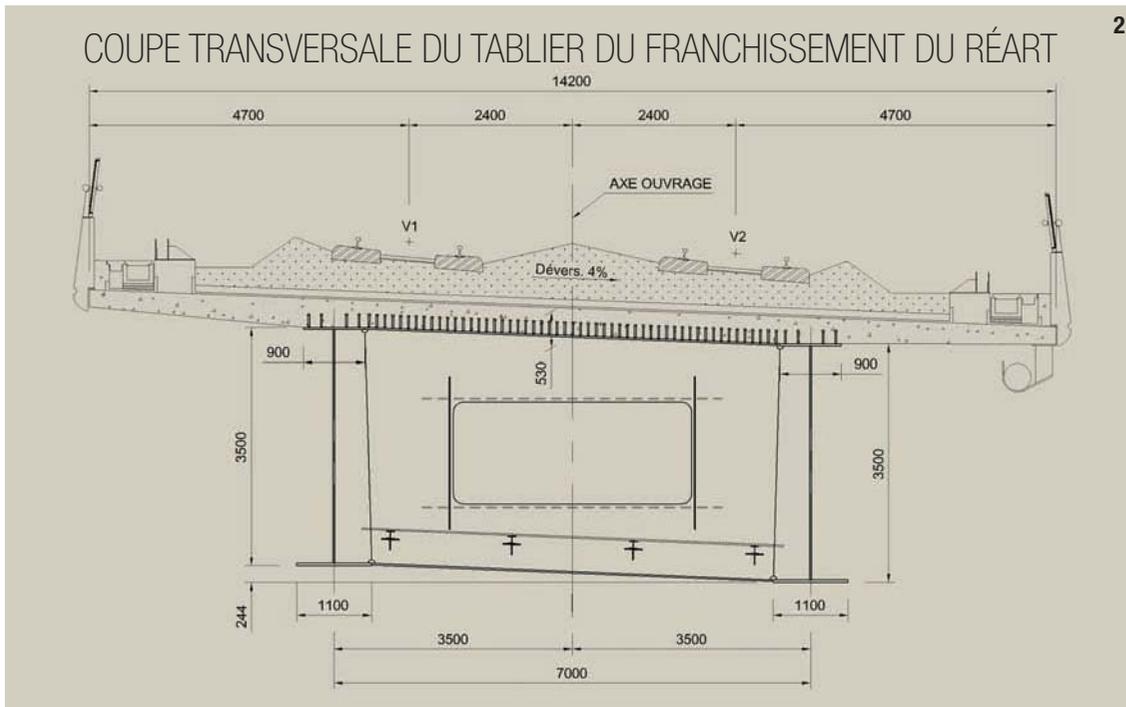
1- Réart
Viaduct
(double-
girder).

Les bipoutres de longueur 392 m (viaduc du Tech) et 180 m (viaduc du Réart) ont des travées de rive de longueur 37 m et des travées courantes de 53 m. Les poutres ont une hauteur de 3,50 m, et sont reliées par un diaphragme tous les 9,25 m environ. Un contreventement métallique installé au niveau des semelles inférieures des poutres vient compléter les liaisons transversales.

Les ouvrages à poutres latérales franchissent l'autoroute A9 (photo 3) et la route nationale RN9. Les portées varient de 27 à 62 m. Les poutres ont une hauteur de 4,85 m pour l'ouvrage de franchissement de l'A9 et de 4 m pour l'ouvrage sur la RN9. Les poutrelles laminées installées entre les deux poutres et enrobées de béton réalisent la dalle de circulation.

LA CONCEPTION DES OUVRAGES
 Les types d'ouvrages retenus sont des structures classiques, simples de conception, durables et largement éprouvés. L'objectif de durée de vie est de 100 ans. Les ouvrages présentent quelques particularités :
 → La largeur utile des tabliers est de 13,20 m au lieu de 12,30 ou 12,60 m sur les LGV françaises ;

→ Les ouvrages ont fait l'objet d'une étude dynamique en balayant une plage de vitesse allant jusqu'à 420 Km/h soit une majoration de 20 % de la vitesse potentielle de la ligne ;
 → Le viaduc sur la RN9 à une largeur variable de 15,75 à 17,70 m ;
 Les ouvrages ont été conçus en application des règles parasismiques ;
 → Pour les ouvrages bipoutres et l'ouvrage sur la RN9 les efforts de ▷



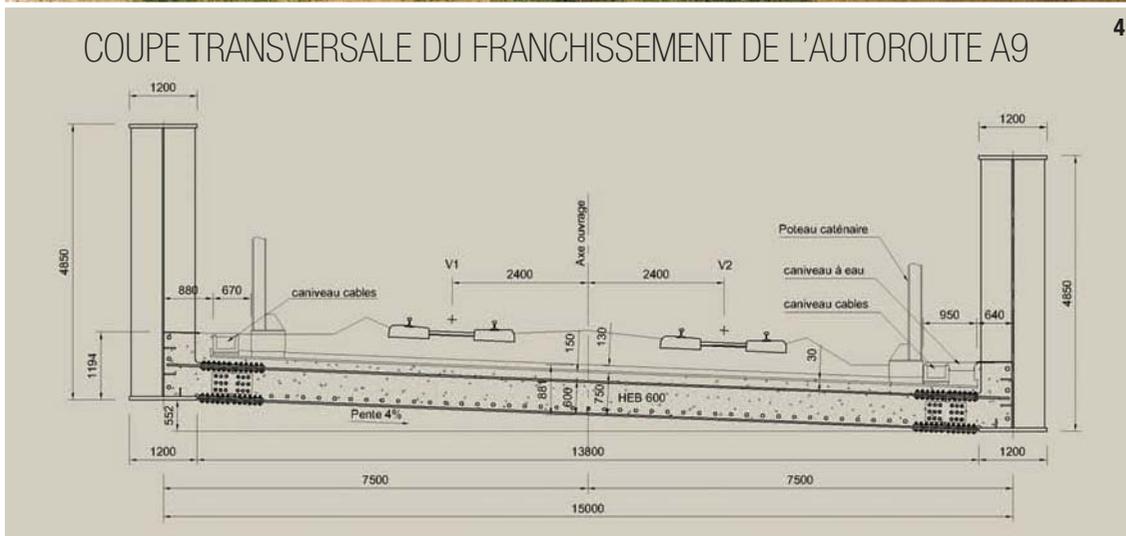
2

2- Coupe transversale du tablier du franchissement du Réart.
 3- Le viaduc de l'autoroute A9, ouvrage à poutres latérales.
 4- Coupe transversale du tablier.



3

2- Deck cross section of the Réart crossing.
 3- The A9 motorway viaduct, a side-girder structure.
 4- Cross section of the side-girder deck.



4

séisme sont intégralement transmis aux piles et culées par les appareils d'appui.

→ La reprise des efforts sismiques du viaduc sur l'A9 dont les piles sont très courtes et très raides est réalisée par des ressorts amortisseurs précontraints (photo 6).

LES MATÉRIAUX MIS EN ŒUVRE

Les matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages proviennent des aciéries de Dilling en Allemagne (Sarre) et sont livrés à l'usine Eiffel en France à Lauterbourg (67) par voie d'eau (photos 7 et 8). Les plaques métalliques sont de nuance S 355 K2+N, S 355 N et ML conformément à la norme EN 10025.

Les épaisseurs des tôles mises en œuvre varient de 20 à 150 mm.

LA FABRICATION DES OUVRAGES

L'ensemble des éléments métalliques des tabliers a été fabriqué à l'usine de Lauterbourg particulièrement équipée pour la fabrication de ce type de structure.

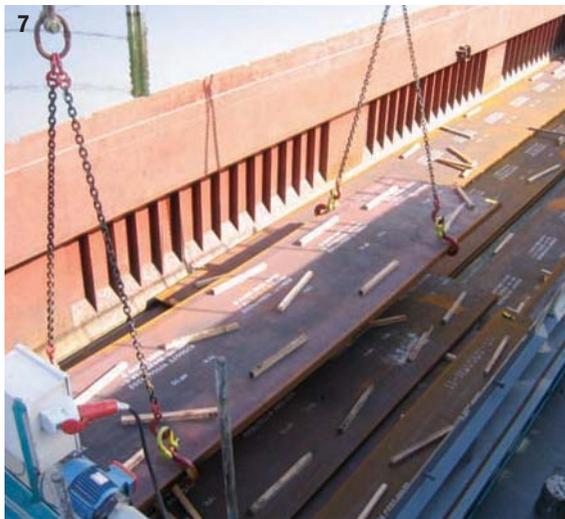
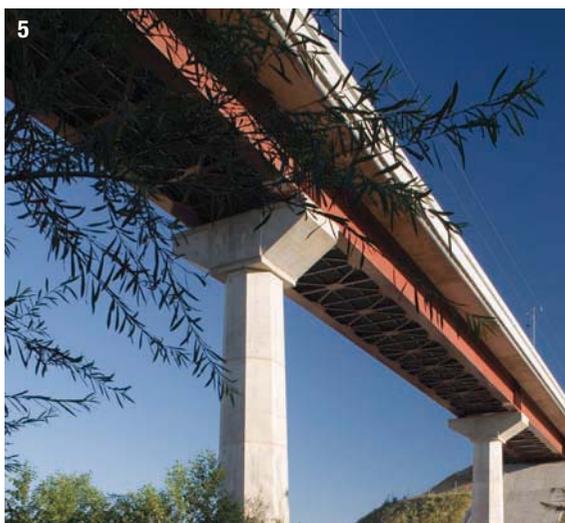
La fabrication nécessite la mise en œuvre de plusieurs opérations :

→ Le débitage (découpe des pièces élémentaires). L'usine dispose de bancs d'oxycoupage et d'un ban de découpe plasma (photos 9 et 10).

→ La constitution des âmes et semelles des poutres. Les variations d'épaisseur des pièces sont obtenues par

5- Le viaduc du Tech.
 6- Ressorts amortisseurs précontraints (RAP) installés sur la culée du viaduc sur l'A9.
 7 & 8- Déchargement des tôles au port de Lauterbourg.
 9 & 10- Les opérations de débitage.

5- The Tech viaduct.
 6- Preloaded spring shock absorbers set up on the abutment of the viaduct over the A9.
 7 & 8- Unloading of plates in Lauterbourg port.
 9 & 10- Cutting operations.



aboutage (photos 11 et 12).
→ La réalisation des PRS (poutres reconstruées soudées).

Deux machines de grande capacité fabriquent ces poutres sans opération préalable d'assemblage ou de pointage (photos 13 et 14).

→ Les opérations d'habillage qui consistent à assembler les éléments

secondaires (raidisseurs, attaches, etc.) sur la poutre (photo 15).

LA PROTECTION ANTI-CORROSION

La protection anti-corrosion des pièces métalliques est obtenue par la mise en œuvre d'un système certifié par l'AC-QPA dans la classe C3ANV. Le métal est

d'abord décapé par jet de grenaille puis reçoit trois couches de peinture. L'usine d'Eiffel à Lauterbourg dispose de deux bâtiments modernes de grenailage et de peinture (photos 16 et 17).

LA LIVRAISON DES PIÈCES SUR LE CHANTIER

Les pièces sont chargées sur camions

dans l'usine de Lauterbourg puis partent pour un trajet de près de 1 000 km pour être livrées sur les différents sites d'installation. Les poids unitaires des éléments de poutres varient de 30 à 80 tonnes, leur longueur pouvant atteindre 28 m.

Tous ces éléments font l'objet de convois routiers exceptionnels. ▷



11 & 12-
Raboutage
de semelles.
13, 14 & 15-
La réalisation
des PRS.

11 & 12-
End-to-end
joining of
footings.
13, 14 & 15-
Execution of
welded plate
girders.

LE MONTAGE DES OUVRAGES

Tous les ouvrages ont été mis en place par lancement. L'ouvrage sur le Réart (180 m) a été totalement assemblé sur la plate-forme à l'arrière de la culée C4. Les assemblages des poutres et diaphragmes sont réalisés par soudage, les contreventements inférieurs sont assemblés par boulons à haute

résistance. La passerelle de visite (entre les poutres de l'ouvrage) et la dernière couche de peinture ont également été réalisées avant lancement. Le tablier a donc été mis en place en une seule opération de lancement à l'aide d'un treuil à câble. Pour l'ouvrage sur le Tech, le même principe de construction a été retenu.

Compte tenu de la longueur du tablier, deux opérations de lancement ont été réalisées (photos 18 et 19). L'ouvrage sur la RN9 (144 m) a été totalement assemblé sur la plate-forme à l'arrière de la culée C4. Les assemblages des poutres principales ont été réalisés par soudage, et les éléments transversaux en poutrelles

ont été assemblés sur les poutres par boulons à haute résistance. Le tablier a été mis en place en une seule opération de lancement à l'aide d'un treuil à câble. Cette opération a été réalisée de nuit sous interruption de trafic (photos 20 et 21). Les matériels de lancement ont été conçus spécialement pour cet ouvrage

- 16- Vue extérieure de la cabine de peinture.
- 17- Poutre prête pour l'expédition.
- 18 & 19- Lancement du viaduc sur le Tech.
- 20- Le lancement de nuit du viaduc sur la RN9.
- 21- Le viaduc sur la RN9 en fin de lancement.
- 22- Le franchissement de l'autoroute A9 sous circulation.
- 23- Le tablier du viaduc de l'A9 bétonné avant lancement.

- 16- External view of the paint booth.
- 17- Girder ready for shipment.
- 18 & 19- Launching of the viaduct over the Tech.
- 20- Launching of the viaduct over the RN9 highway at night.
- 21- The viaduct over the RN9 highway at end of launching.
- 22- Crossing of the trafficked A9 motorway.
- 23- The deck of the A9 viaduct concreted before launching.



afin de s'adapter à la largeur variable du tablier.

L'ouvrage sur l'A9 (265 m) a été totalement assemblé sur la plate-forme à l'arrière de la culée C4.

Comme pour l'ouvrage de la RN9, les assemblages des poutres principales ont été réalisés par soudage, les éléments transversaux en poutrelles ont

été assemblés sur les poutres par boulons à haute résistance (photo 22).

Afin d'éviter tous risques de chutes d'objet ou de coulure de béton sur l'autoroute, la dalle de circulation a été bétonnée sur une épaisseur de 15 cm, sur toute la surface de l'ouvrage, sur la plate-forme de lancement (photo 23).

Le tablier a été mis en place en une seule opération de lancement à l'aide de deux vérins « avaleurs de câble » capable de développer un effort de 3000 kN par vérin, les moyens classiques (treuil à câble) n'étant plus assez puissants pour déplacer l'ouvrage avec sa dalle partiellement bétonnée (photos 24 et 25).

Cette opération a été réalisée de jour sans interruption de circulation.

Les matériels de lancement ont été conçus spécialement pour cet ouvrage afin de s'adapter aux charges importantes du tablier partiellement bétonné (photo 26). □



**CONTRÔLE QUALITÉ
À TOUTES LES ÉTAPES**

Depuis la réception des matériaux jusqu'à l'expédition, les pièces font l'objet de nombreux contrôles tel que :

- La conformité des matériaux ;
- La conformité des métaux d'apport pour le soudage ;
- Le contrôle des paramètres pour toutes les phases de fabrication (découpage, soudage etc.) ;
- Le contrôle géométrique des pièces unitaires et assemblées ;
- Le contrôle des soudures ;
- Le contrôle des travaux de peinture.



24- L'ancrage des câbles de traction.
25- Le dispositif de traction par vérin.
26- Le tablier du viaduc de l'A9 en fin de lancement.

24- Anchoring of pulling cables.
25- The jack pulling system.
26- The deck of the A9 viaduct at end of launching.

ABSTRACT

METALLIC AND COMPOSITE STEEL-CONCRETE ENGINEERING STRUCTURES

JEAN-PIERRE GERNER, EIFFEL

The Perpignan Figueras high-speed train line includes four viaducts of composite structure, two double-girder bridges and two side-girder bridges. □

LAS OBRAS DE FÁBRICA CON ESTRUCTURA METÁLICA O MIXTA

JEAN-PIERRE GERNER, EIFFEL

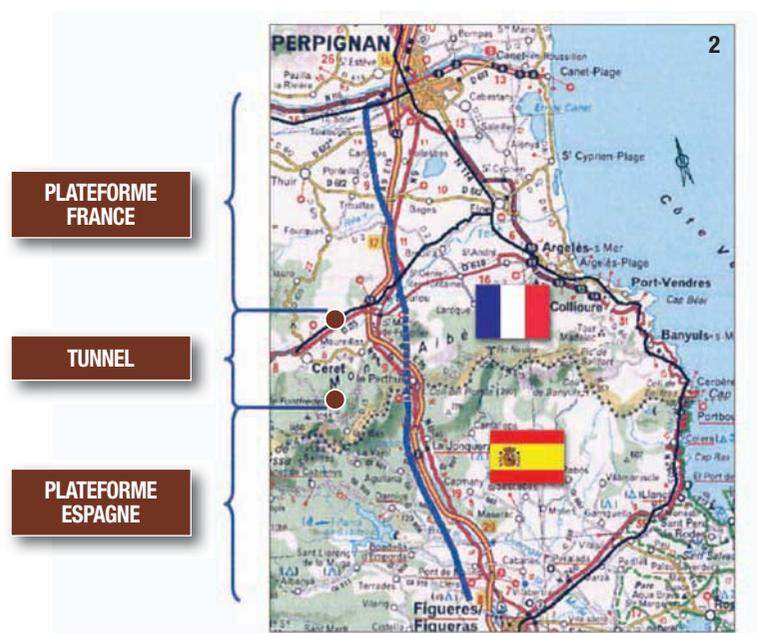
La LGV Perpiñán-Figueras consta de cuatro viaductos en estructura mixta, dos estructuras de doble viga y dos estructuras de vigas laterales. □

TUNNEL DU PERTHUS : RÉALISATION D'OUVRAGES EN TERRAIN COMPLEXE

AUTEURS : XAVIER DELAPORTE, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE TP TUNNEL DU PERTHUS - MICHEL DUCROT, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE TP TUNNEL DU PERTHUS - JEAN-LUC TROTTIN, DIRECTEUR COMMERCIAL, EIFFAGE TP GRANDS TRAVAUX

AU SEIN DU PROJET PERPIGNAN-FIGUERAS, LE SOUS-GROUPEMENT « TUNNEL DU PERTHUS » A RÉALISÉ UNE SÉRIE D'OUVRAGES DANS UNE ZONE GÉOLOGIQUE PARTICULIÈREMENT COMPLEXE : UNE FENÊTRE ET UNE GALERIE DE RECONNAISSANCE ; DEUX TUNNELS AU MOYEN DE DEUX TUNNELIERS ROCHE DURE REVÊTUS DE VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS ; 45 RAMEAUX DE LIAISON ENTRE LES TUNNELS (41 RAMEAUX DE SÉCURITÉ DE 15 M² DE SECTION ET 4 RAMEAUX TECHNIQUES DE 25 M² DE SECTION) ; LES OUVRAGES BÉTON DES TÊTES SOUS FORME DE FAUX TUNNELS REMBLAYÉS EN DÉFINITIF, ET AVANT TUNNELS (LONGUEUR TOTALE 100 M SUR CHAQUE TÊTE) ; ET ENFIN LES STRUCTURES EN TUNNEL (BÉTON SOUS VOIES, RÉSEAUX ET BÉTONS DE QUAIS).

LA DIRECTION TECHNIQUE ET LA DIRECTION DES TRAVAUX ONT ÉTÉ CONFIÉES À EIFFAGE TP (FIGURES 2 ET 3).



2- Plan de situation du tunnel du Perthus.

3- Profil en long du tunnel du Perthus.

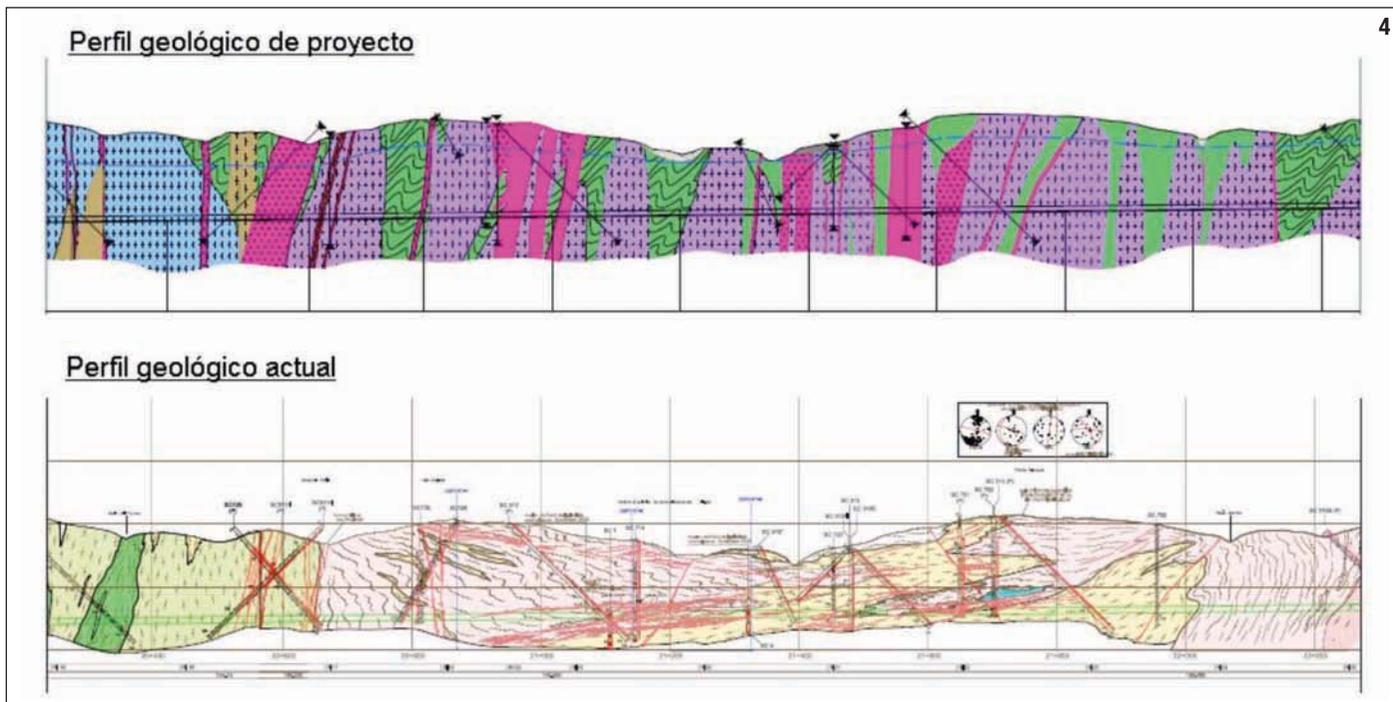
2- Location drawing of Perthus Tunnel.

3- Longitudinal profile of Perthus Tunnel.

UN CONTEXTE GÉOLOGIQUE COMPLEXE

Le tracé du tunnel du Perthus, sur une longueur excavée de 8 200 m, se développe dans les terrains paléozoïques du massif des Albères. Il s'agit d'une zone géologique complexe et fortement tectonisée. Le tracé rencontre successivement les formations suivantes, du nord vers le sud : les schistes de Montequieu, constitués de schistes noirs et de micaschistes ; les gneiss des Albères ; les schistes de Maureilles-Les-Cluses, constitués essentiellement de micaschistes et de granitoïdes. Ces formations métamorphiques concernent environ un quart du tracé. Les formations suivantes, intrusives, sont rencontrées jusqu'à la tête sud : les granitoïdes de Saint-Martin des Albères, constitués de diorites et de granodiorites, et les





granites du Perthus. Ces formations sont fortement tectonisées et contiennent d'importantes zones mylonitisées (roches broyées). Les accidents géologiques remarquables sont les suivants :

- La faille de Montesquieu, orientée E-W, séparant les sédiments argilo-graveleux du néocène des schistes de Montesquieu ;
- La faille du Boulou, orientée E-W, séparant les schistes de Montesquieu des gneiss ;
- Les failles de Mas Anglade, orientée N120E, et de Saint-Clément, orientée N160E, dans les granitoïdes de San Marti de l'Albera ;
- La faille du fort de Bellegarde, orientée N100E, dans les granites du Perthus.

Les failles de Mas Anglade et de Saint-Clément sont des accidents majeurs subverticaux, le premier transversal au tracé de direction N120°, le second subparallèle de direction N160° ; ils affecteront le creusement sur un linéaire de 1 000 m environ. La mylonitisation et l'extrême fracturation de la roche sont généralisées. Au droit de la faille de Saint-Clément, la hauteur des terrains de recouvrement varie de 65 à 120 m, et la charge d'eau de 65 à 75 m.

Le modèle géologique de référence du projet se basait sur l'étude géologique et géotechnique du dossier de soumission (Geocontrol 1996).

Le groupement constructeur du tunnel a fait réaliser, à partir de 2005, une série d'études de géologie structurale, géotechnique et géomécanique.

4- Profils géologiques.

5- Tunnel revêtu. Section courante en cours de creusement.

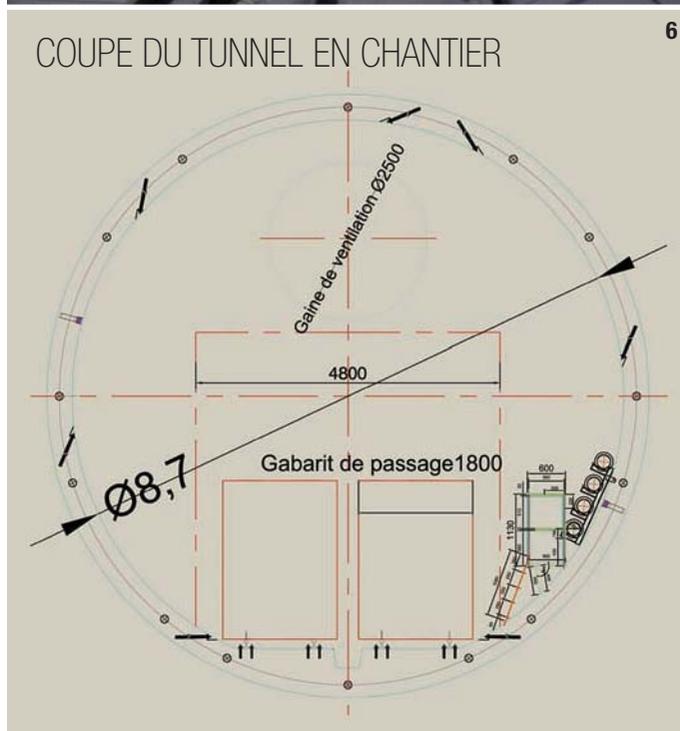
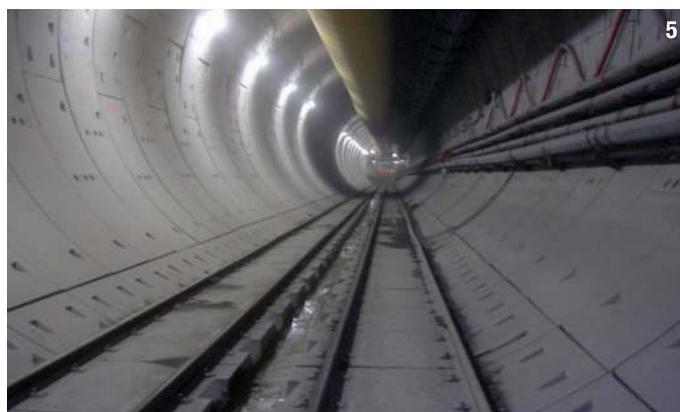
6- Coupe du tunnel en chantier.

- 4- Geological profiles.**
- 5- Lined tunnel. Standard section during tunnel driving.**
- 6- Cross section of the tunnel during works.**

Le rapport définitif de cette étude sur le secteur des Cluses et le profil géologique ont pris en compte les résultats des reconnaissances, en approfondissant le thème de la structuration tectonique à grande échelle, et le comportement géomécanique des roches tectonisées présentes au niveau de la descenderie. Les conclusions de cette étude ont été les suivantes :

→ La fenêtre intermédiaire et les galeries nord-sud ont été conçues vis-à-vis de la présence supposée d'une importante tectonique fragile liée à un réseau de failles subverticales (modèle 1996) ;

→ Les failles verticales semblent être moins importantes que prévu. En revanche, une tectonique régionale



par cisaillement ductile-fragile engendre des plans tectoniques à faible pendage subparallèles à l'axe du tunnel de base (figure 4).

Cependant la réalité géologique s'est révélée beaucoup plus complexe et la progression des tunneliers dans cette

structure faillée sub-horizontalement, véritable « mille-feuilles » totalement instable, a été lourdement pénalisée.

L'EXCAVATION DES TUNNELS

Le creusement des deux tunnels (diamètre 8,70 m fini, longueur 8 200 m

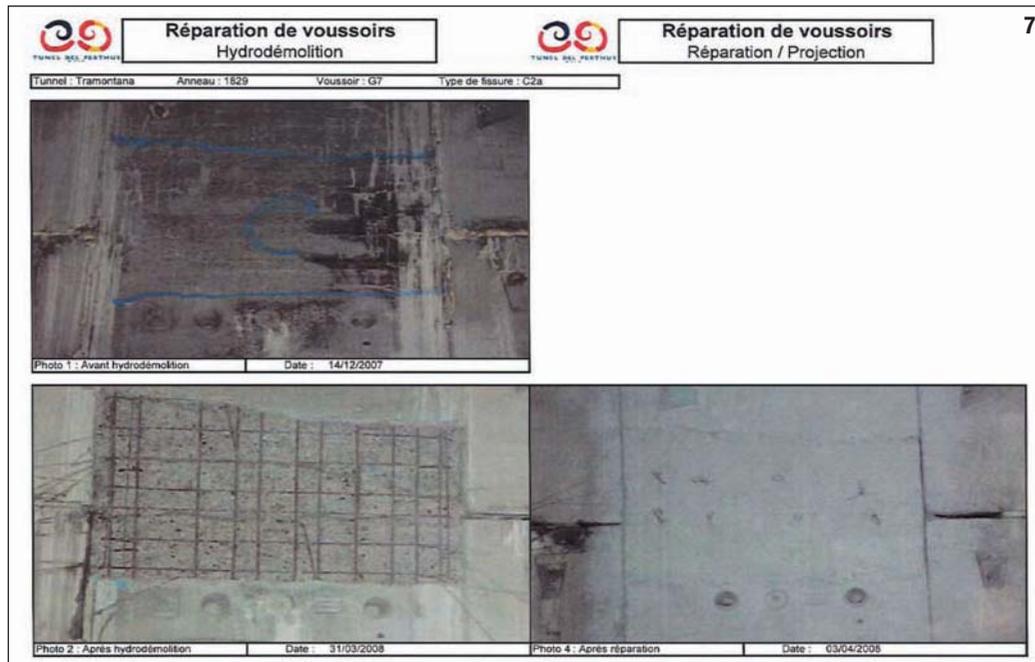
environ) a été réalisé de mi-2005 à novembre 2007 (photo 5). Le chantier a été réalisé en sept jours sur sept et en trois postes de huit heures. Le poste type de creusement au tunnelier est composé de 20 ouvriers. Les postes occupés par le personnel sur la machine sont les

suivants : acheminement et pose des anneaux, injection du mortier, injection de la gravette, pilote, logistique, pose des rails et des divers réseaux au fur et à mesure de l'avancement (exhaure, eau industrielle, ventilation, câbles informations, structure convoyeur).

Le tunnelier excave à un diamètre de 9,96 m. Il se compose d'un bouclier double de longueur 13,50 m.

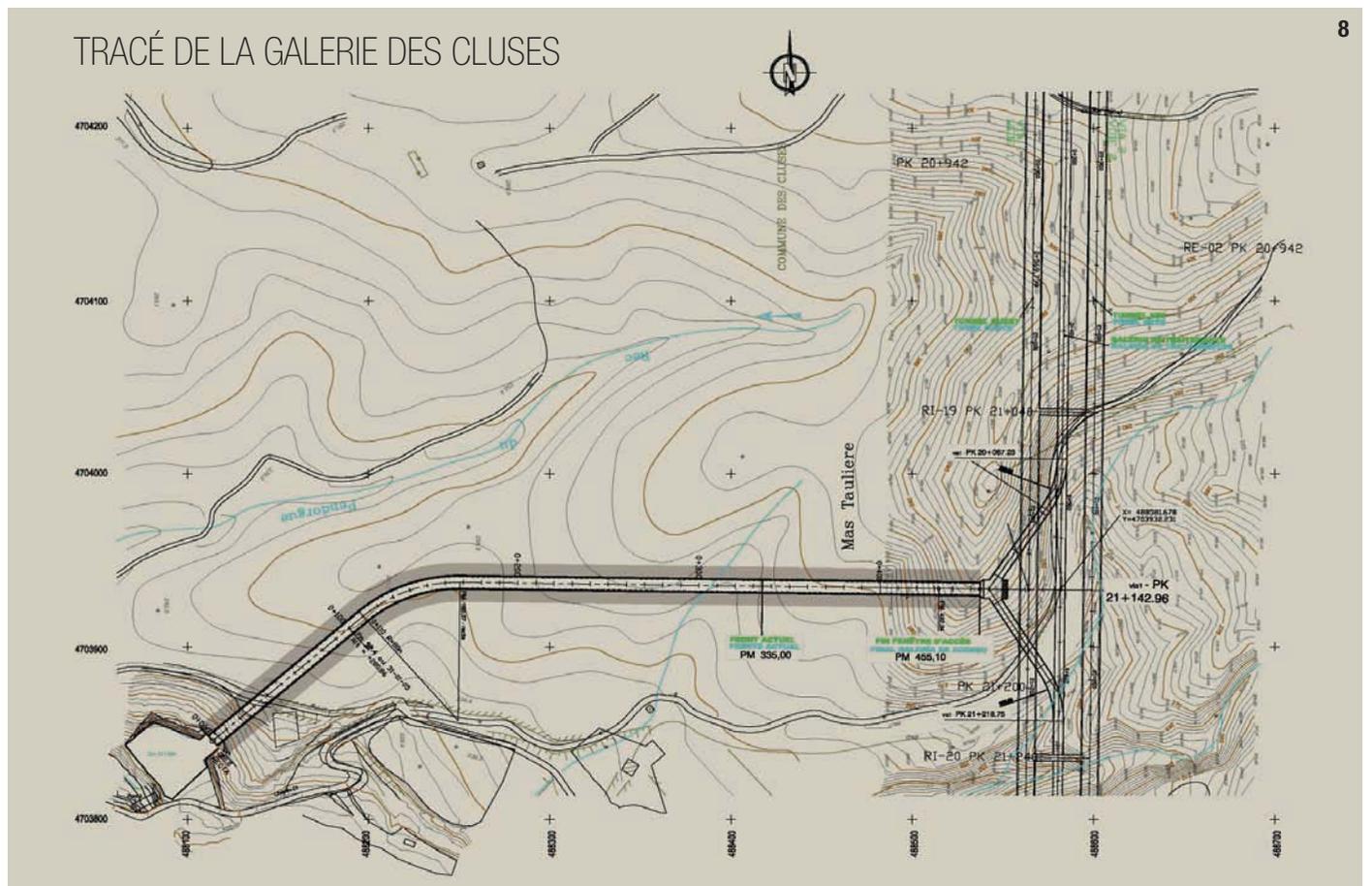
Le train suiveur est composé de neuf remorques sur deux étages, et sa longueur totale est de 150 m.

Les principaux équipements sont les suivants : l'érecteur, la table à voussoir, la benne fixe à mortier et les pompes d'injection, la cabine de pilotage, la grue à voussoirs (déchargement des voussoirs du train à la table à voussoirs), ▷

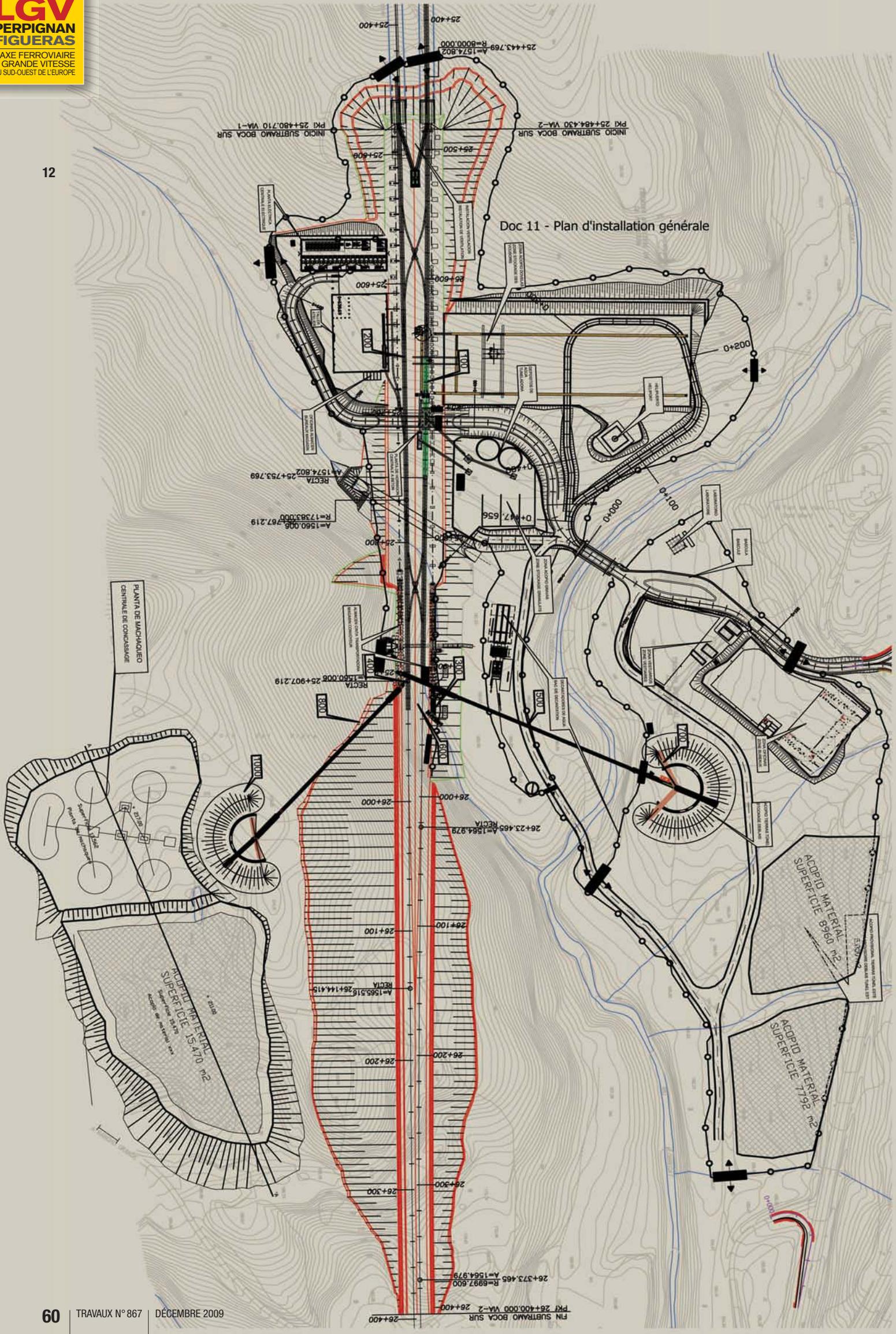


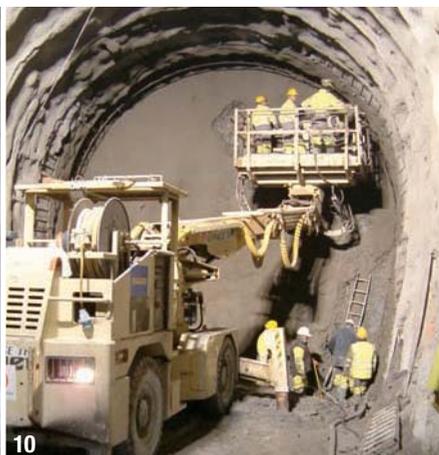
7- Réparation de voussoirs par hydrodémolition.
8- Tracé de la galerie des Cluses.

7- Repair of segments by hydrodemolition.
8- Alignment of the Cluses gallery.



Doc 11 - Plan d'installation générale





9- Attaque de la galerie des Cluses.

10- Mise en place d'un cintre réticulé à front dans la fenêtre.

11- Installation générale de la tête sud.

12- Plan d'installation générale.

9- Face of the Cluses gallery.

10- Placing a reticulated arch at the front in the window.

11- General installation of the South portal.

12- General layout drawing.

« LES CONDITIONS GÉOLOGIQUES IMPRÉVISIBLES DÉCOUVERTES TRÈS TARDIVEMENT PAR RAPPORT AU CHOIX ET À LA FABRICATION DES TUNNELIERS ONT BOULEVERSÉ L'ORGANISATION DU PROJET »

les pompes de transfert pour le mortier, les containers électriques, les transformateurs, la réserve d'huile hydraulique, le réfectoire, les pompes d'injection de la gravette, le container de survie et le container atelier.

Les dernières remorques sont utilisées pour le prolongement des réseaux et des structures diverses en intégrant les enrouleurs et une réserve d'eau industrielle. Le délai de fabrication depuis la commande ferme, transport et montage sur site compris, a été de 15 mois.

Le double bouclier présente l'intérêt de poser les anneaux en temps masqué pendant le creusement, puisque les gripeurs reprennent les poussées des vérins principaux nécessaires au creusement ; ces vérins sont donc en position fermée au démarrage du creusement. Lorsque le creusement ainsi que la pose de l'anneau sont terminés, un avancement de toute la machine est réalisé, et la machine est à nouveau grippée au terrain. Le « regripping » terminé, une nouvelle phase de creusement peut débuter.

Les anneaux de revêtement du tunnel sont de type droit ou gauche avec voussoir de radier fixe (6 + clé), de longueur 1,5 m, d'épaisseur 40 cm et de pincement correspondant à un rayon de rattrapage de 300 m.

Les voussoirs sont équipés de joints d'étanchéité de type EPDM Phoenix.

Le remplissage du vide annulaire à l'arrière du revêtement est réalisé sur une épaisseur de 20 cm environ avec :

- Un mortier injecté par la jupe du tunnelier en radier sur 100° environ ;
- Une gravette de type 0/12, mise en place à travers les réservations des voussoirs, en piédroits et en voûte sur la périphérie restante ;
- Un coulis d'injection ciment-bentonite en remplissage des vides de la gravette, réalisé en règle générale en

tunnel, entre 500 et 1 000 m à l'arrière du tunnelier.

Les cycles d'avancement-type sont les suivants : excavation entre 30 et 60 mm/min ; cycle complet entre 45 min et 1 h 15 dans les terrains de bonne tenue. Dans une configuration normale de creusement et sur un « bon » terrain de type granites du Perthus, diorites et gneiss Maureillas, des avancements supérieurs à 600 m/mois ont été possibles sur plusieurs mois. À cause des délais serrés, et pour permettre l'excavation des tunnels en un « bon » terrain de type granites du Perthus, diorites et gneiss Maureillas, des avancements supérieurs à 600 m/mois ont été possibles sur plusieurs mois. À cause des délais serrés, et pour permettre l'excavation des tunnels en un « bon » terrain de type granites du Perthus, diorites et gneiss Maureillas, des avancements supérieurs à 600 m/mois ont été possibles sur plusieurs mois.

À partir de début 2007, à la moitié du tunnel, il a été nécessaire de mettre en place un système de cantons et de responsables du trafic pour réguler les trains dans les deux tunnels et en plateforme.

L'évacuation des déblais s'est faite par bande transporteuse de largeur 1 000 mm, d'une capacité nominale de 1 300 t/h (figure 6).

DES CONDITIONS DE CREUSEMENT DÉFAVORABLES

Les tunneliers ont rencontré des difficultés importantes dans la zone centrale des deux tunnels (Pt 21.800 à 20.600) pour les raisons suivantes : hétérogénéité des fronts d'excavation sur des terrains de caractéristiques très variables, qui ont rendu nécessaire l'injection de mousses et de résines ; surexcavations et soutirages ayant provoqué des blocages de la tête de coupe des tunneliers. La conséquence de ces difficultés a été, d'une part, la réduction

sensible des performances d'excavation et, d'autre part, l'apparition de fissures dans certains voussoirs.

La zone centrale des Cluses est formée d'un ensemble schistes-granitoïdes. L'excavation de la descenderie et des galeries des Cluses a mis en évidence la présence d'une déformation tectonique importante et diffuse, qui se développe avec la formation de plans de cisaillement ductile-fragile à faible pendage. Le terrain caractérisant ces zones est constitué d'alternances irrégulières de couches centimétriques à métriques de roches moins déformées (granites et/ou schistes) entourées par une matrice incohérente (cataclases, gouge) avec des zones associées à dominante argileuse. Du point de vue hydrogéologique, les couches subhorizontales argileuses à faible perméabilité fonctionnent comme des barrières, et les failles et zones de cisaillement peuvent amener des perméabilités plus élevées entre les niveaux de nappe en charge.

En juin 2006, confrontés à des conditions de creusement très défavorables aux environs de l'anneau 1900 (KM 22,500), sur une longueur de 1 000 m environ et sur les deux tubes, la direction technique du chantier a établi une procédure de creusement en zone de failles dans le but de guider le personnel en poste (chef de poste et pilote du tunnelier) pour l'excavation dans ces zones. Les principaux paramètres à suivre dans ces conditions de terrain étaient le poids de terrain excavé en fonction de l'avancement, la vitesse de rotation de la tête et la vitesse de pénétration.

Les directives de cette procédure ont permis à l'encadrement de chantier d'entreprendre les actions nécessaires pour améliorer les conditions de creusement. Parmi les principales, on peut ▷



13



15

citer : la réalisation de voûtes parapluie, le calibrage des ouvertures de la tête de coupe des tunneliers, les injections de consolidation et de blocage en avant du bouclier et au-dessus du bouclier depuis les tunneliers et depuis la galerie de reconnaissance des Cluses, et enfin les injections de collage et de renforcement autour du revêtement à partir des trains suiveurs.

L'ensemble de ces dispositions a néanmoins permis de franchir les 1200 mètres linéaires de la zone des Cluses à des cadences fortement ralenties (150 mètres par mois). Ces conditions géologiques imprévisibles découvertes très tardivement par rapport au choix et à la fabrication des tunneliers ont bouleversé l'organisation du projet et ont conduit à un retard global d'environ

1 an à la fin du creusement des tunnels. L'engagement de la Direction d'en réduire les conséquences en termes de délai et de coût s'est notamment affirmé en changeant la réalisation des bétons à plat pour une méthode beaucoup plus rapide. (Voir article « Le béton de voie du tunnel » page 66).

FISSURES DES VOUSSOIRS ET RÉPARATION

Le revêtement posé a subi des contraintes importantes dans les zones faillées, notamment au droit de la faille de Saint-Clément. Dans ces zones, les efforts des terrains en place peuvent être très dissymétriques. Les anneaux sont conçus pour supporter les efforts normaux dus au terrain, répartis par le matériau de remplissage sur toute la

13- Rameau de sécurité. Cadre de renforcement à partir du tunnel.

14- Tête nord : confortement des talus.

15- Tête nord : confortement du tympan.

13- Safety cross-passage. Reinforcing frame from the tunnel.

14- North portal: consolidation of earth banks.

15- North portal: consolidation of the front wall.

surface de leur extrados. La forme géométrique de l'anneau permet de transformer ces efforts normaux extérieurs en forces internes de compression. L'anisotropie de répartition des efforts du terrain et les difficultés de mise en place du matériau de bourrage ont eu pour conséquence l'apparition d'efforts de flexion dans le béton des anneaux. Dans certaines zones, des voussoirs trop sollicités en flexion se sont fissurés. Suite à l'apparition de fissures dans les anneaux, dans la zone centrale du tunnel à partir du kilomètre 21 environ, un recueil et une analyse des données ont été réalisés. Les données recueillies ont été les suivantes : nombre de fissures, ouverture, profondeur et évolution ; quantité de mortier, gravette et coulis injectés ; surexcavations enregistrées et confortements additionnels réalisés, par injections ou voûtes parapluies.

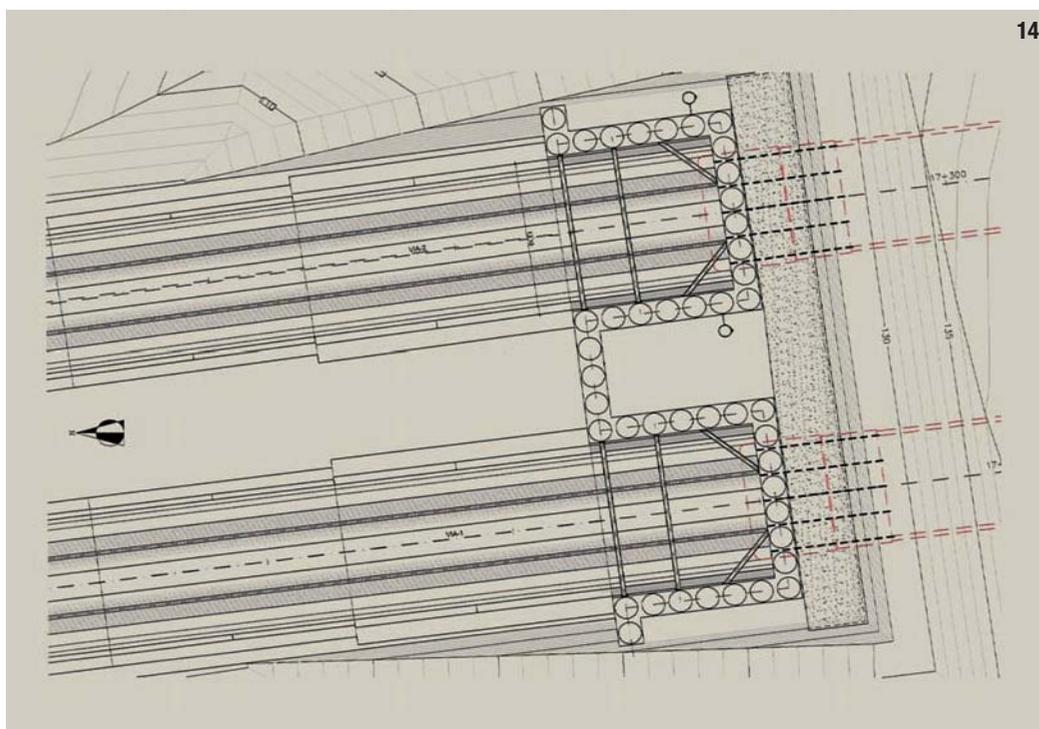
Un projet de réparation des voussoirs a été établi en classifiant les voussoirs selon trois catégories de fissures.

Les réparations de type A sont « esthétiques » : une peinture imperméable est appliquée pour des fissures d'ouverture inférieure à 0,4 mm.

Les réparations de type B sont classiques, sur le principe d'injection des fissures par un coulis de micro-ciment sans retrait, pour des fissures d'ouverture inférieure à 2 mm.

Les réparations de type C consistent à démolir le béton dégradé par hydro-démolition sur une épaisseur variant du recouvrement des aciers jusqu'à la demi-épaisseur du voussoir, à injecter des fissures éventuellement traversantes, à remplacer des aciers de la nappe d'intrados et à reconstituer le voussoir par un béton projeté haute résistance Premix 60 Mpa.

Les réparations de type C sont réalisées après injections de stabilisation et de confortement des terrains en anneaux



14



16



17

autour du tunnel en voûte. Cette activité s'est déroulée sur une période de cinq mois pour les deux tunnels, pendant la réalisation des bétons sous voie et des quais (figure 7).

EXCAVATION DE LA GALERIE DES CLUSES

La galerie des Cluses est destinée à la reconnaissance de la zone des schistes et granitoïdes de Maureillas, et aux traitements éventuels des failles avant le passage des tunneliers (figure 8, photos 9 et 10).

C'est un ouvrage parallèle au tunnel du Perthus, situé entre les deux tubes et longitudinalement entre le PK 20 + 590 et le PK 21 + 790 de manière à couvrir les positions présumées des failles de Saint-Clément et de Mas Anglade. La section de cette galerie est en fer à cheval de dimensions intérieures 5 x 5 m environ.

Son axe est à mi-distance des deux tubes, dont les axes sont espacés de 35 m à cet endroit. L'accès à la galerie se fait à partir d'une fenêtre d'accès de section en fer à cheval de 7 x 7 m située sur la commune des Cluses et dont la pente est d'environ 12 %.

Après les 100 premiers mètres, l'excavation de la fenêtre d'accès a été effectuée en conditions géomécaniques difficiles en raison de la présence de roches fortement tectonisées.

En conséquence, le tracé a été modifié en janvier 2005, suite aux résultats de reconnaissances sismiques et par forage.

La persistance de conditions d'avancement difficiles a entraîné le changement du système d'excavation et le remplacement du soutènement léger original par un soutènement plus lourd (cintres H 180, treillis soudé, béton projeté). De très mauvaises conditions ont caractérisé l'excavation de la chambre de

bifurcation, où une épaisseur considérable de béton projeté a dû être mise en place pour garantir la stabilité.

Ces conditions ont soulevé le problème des phénomènes potentiels de « squeezing » et de coincement de la tête des tunneliers, ce qui a conduit la direction du chantier à entreprendre une campagne d'étude et de reconnaissance complémentaire.

La galerie des Cluses a été réalisée en méthode traditionnelle, explosif et excavation à la pelle, soutènement par cintrage (réticulés ou lourds) et béton projeté.

Les travaux ont duré de mi-novembre 2004 à août 2005 pour l'excavation de la fenêtre, et de septembre 2005 à mars 2006 pour l'excavation des galeries.

C'est finalement lors de son creusement que la véritable nature des terrains environnants s'est manifestée, en profond désaccord avec les études préliminaires de terrains.

RÉALISATION DES RAMEAUX INTERTUBES

41 rameaux de sécurité et quatre locaux techniques ont été réalisés en traditionnel à l'explosif à l'arrière des chantiers de creusement au tunnelier (à 500 - 2 000 m du front de creusement en général).

Les rameaux ont été réalisés à l'explosif en traditionnel par les deux tubes, après soutènement des anneaux puis sciage et démolition des voussoirs.

L'ensemble des activités (excavation et revêtements) a été réalisé à partir de 12 trains de travaux (photo 13).

TRAVAUX DE LA TÊTE NORD

L'extrémité nord des tunnels se situait à proximité d'une zone de terrain de très mauvaise qualité.

Situé en fait au droit de la faille de Montequieu, le front de sortie a été reculé

16- Berceau en attente des tunneliers.

17- Réalisation du faux tunnel et vue sur le tympan.

16- Cradle waiting for tunnel boring machines.

17- Execution of the portal and view of the front wall.

de 25 m vers le sud pour s'affranchir de celle-ci.

Dans un premier temps, le soutènement a été traité de manière assez classique en parois cloutées. Le suivi de l'exécution à l'aide d'une instrumentation poussée, de relevés quotidiens puis biquotidiens selon la méthode observationnelle, a fait apparaître, à peu près à mi-hauteur, des déplacements en surface et à l'intérieur du massif beaucoup plus importants que ne le prévoyaient les calculs. Après une revue de la conception de l'ouvrage, deux chambres de sortie ont été réalisées au moyen de pieux verticaux de diamètre 1 850 mm juxtaposés et liaisonnés en ▷

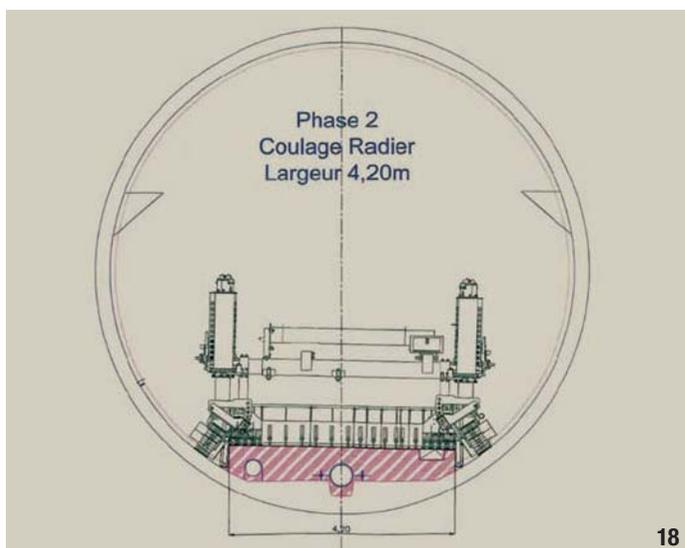
RÉSEAUX ÉQUIPANT LES TUNNELS

- Deux voies de gabarit 1 000 mm posées directement sur le voussoir de radier ;
- Conduites alimentation en eau et refroidissement du tunnelier ;
- Conduites de pompage ;
- Une gaine de ventilation Diam 2500 ;
- Un câble 20 kV ;
- Une guirlande éclairage avec réglottes fluo.

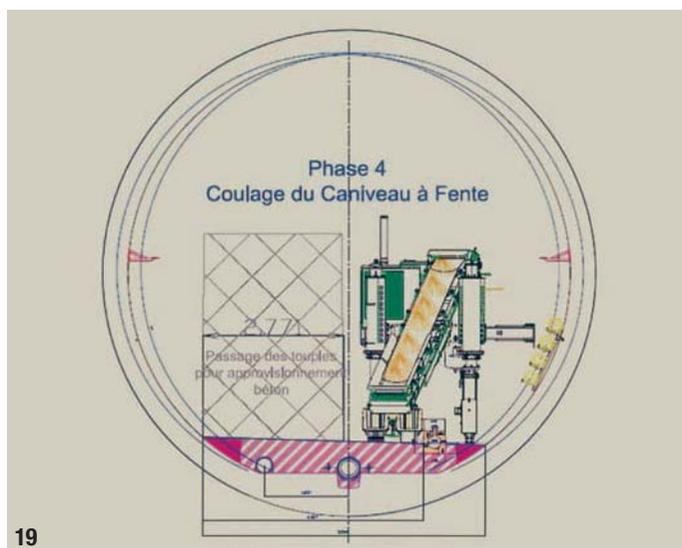
LES INSTALLATIONS GÉNÉRALES

Elles sont situées du côté de la tête sud sur une surface d'environ 4 hectares (photo 11 et figure 12). Elles comprennent :

- La zone d'approvisionnement et logistique tunnelier (atelier, magasin, stockage et chargement des voussoirs, voies de logistique tunnelier et rameaux...) ;
- La zone de stockage et approvisionnement du chantier rameaux ;
- Les équipements généraux : labo, centrale à béton, approvisionnement en eau industrielle, compresseurs centrale thermique, ventilation... ;
- Les bureaux entreprise et maîtrise d'œuvre, les vestiaires pour le personnel ;
- Les installations générales des tunnels : atelier, centrale à béton, zone de stockage des voussoirs et convoyeurs de mise en stock des déblais du tunnel.



18



19

tête par une poutre de couronnement (figure 14, photo 15 et 16).

Les travaux de génie civil ont consisté en deux tubes béton coffré et coulé en place au moyen d'un coffrage tunnel intérieur-extérieur (la préfabrication n'a pu être proposée comme sur la tête sud à cause des conditions de sol de fondations et de la sismicité). En termes de planning, le terrassement s'est étalé entre mars et juin 2007, et le confortement des talus a été réalisé en parallèle, de mai à juin 2007. Le faux tunnel a été réalisé entre mai et octobre 2007 (figure 17).

DES STRUCTURES INTERNES EN BÉTON EXTRUDÉ

Les bétons représentent 4,7 m³/ml. Après une analyse comparative des méthodes en coûts et en délais, la méthode de réalisation par coffrage glissant a été choisie.

Celle-ci a été mise en œuvre par les équipes d'Appia grands travaux.

18- Réglages du radier.

19- Caniveau à fente.

18- Invert finishing.

19- Slotted gutter.

À l'exécution, outre le béton à mettre en place, il a été nécessaire d'insérer les fourreaux électriques, la conduite incendie, le drain des eaux industrielles, ainsi que la réalisation, à l'avancement des différents regards.

Au total, quelque 70 000 m³ de béton auront été mis en œuvre dans les deux tunnels avec, à la clef, une économie de temps de quatre mois environ, ce qui, dans un contexte de co-activité en souterrain, constitue une véritable prouesse (figures 18 et 19). □

PRINCIPALES INCERTITUDES IDENTIFIÉES

- Les caractéristiques hydrogéologiques de la zone des failles de Mas Anglade et de Saint-Clément ;
- Les caractéristiques hydrogéologiques de la zone du Boulou ;
- Les caractéristiques géotechniques des zones mylonitisées ;
- L'identification des terrains non encore reconnus ;
- Les conditions géotechniques aux têtes ;
- Le profil en long géologique de la galerie d'accès ;
- L'abrasivité des différents types de roches.

ÉQUIPEMENTS D'APPROVISIONNEMENT EN TUNNELS (HORS TRAVAUX RAMEAUX ET MAINTENANCE VOIES)

- Locotracteurs Schöma diesel ;
- Wagons vousoirs, gravette, mortier malaxeur, wagons à personnel, wagons plateformes ;
- Wagon entretien et plateforme élévatrice ;
- Convoyeurs en tunnel ;
- Système de pompage de relevage.

ABSTRACT

THE PERTHUS TUNNEL: CONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES ON COMPLEX GROUND

XAVIER DELAPORTE, EIFFAGE TP - MICHEL DUCROT, EIFFAGE TP - JEAN-LUC TROTTIN, EIFFAGE TP

As part of the Perpignan-Figueras project, the «Perthus Tunnel» sub-group built a series of engineering structures in an extremely complex geological area: a window and a reconnaissance gallery; two tunnels dug by two hard rock tunnel boring machines and lined with prefabricated segments; 45 cross-passages between the tunnels (41 safety cross-passages of cross section 15 m² and four functional cross-passages of cross section 25 m²); the concrete portal structures in the form of cut-and-cover tunnels with backfilling, and tunnel approaches (total length 100 m on each portal); and finally structures in the tunnel (concrete under tracks, networks and platform concrete). Technical management and works management were entrusted to Eiffage TP. □

TÚNEL DE LE PERTHUS: EJECUCIÓN DE ESTRUCTURAS EN TERRENO COMPLEJO

XAVIER DELAPORTE, EIFFAGE TP - MICHEL DUCROT, EIFFAGE TP - JEAN-LUC TROTTIN, EIFFAGE TP

Actuando en el marco del proyecto Perpiñán-Figueras, la subagrupación «túnel de Le Perthus» ha ejecutado diversas estructuras en una zona geológica particularmente compleja: una ventana y una galería de reconocimiento; dos túneles mediante dos tuneladoras de roca dura revestidos de dovelas prefabricadas; 45 ramales de enlace entre los túneles (41 ramales de seguridad de 15 m² de sección y cuatro ramales técnicos de 25 m² de sección); las obras de hormigón de las cabezas en forma de falso túneles rellenados en definitiva, y antes de los túneles (longitud total de 100 m en cada cabeza); y finalmente las estructuras en túnel (hormigón bajo la vías, redes y hormigones de andenes). La dirección técnica y la dirección de los trabajos fueron confiados a Eiffage TP. □

LE BÉTON DE VOIE DU TUNNEL : DES SOLUTIONS ROUTIÈRES POUR L'AMÉNAGEMENT DU TUNNEL FERROVIAIRE

AUTEUR : FRÉDÉRIC GRATESSOLLE, DIRECTEUR D'ÉTABLISSEMENT GRANDS TRAVAUX BÉTON, APPIA GRAND TRAVAUX

COMME L'EXPLIQUENT LES AUTEURS DE L'ARTICLE PRÉCÉDENT SUR LE TUNNEL DU PERTHUS, LES CONDITIONS GÉOLOGIQUES IMPRÉVUES RENCONTRÉES DANS LE CREUSEMENT DU TUNNEL ONT ENTRAÎNÉ QUELQUE RETARD DANS LE PERCEMENT. AFIN DE COMPENSER CE RETARD SUR LE PLANNING, IL A FALLU REGAGNER DU TEMPS LORS DE L'EXÉCUTION DE TOUTES LES TÂCHES. C'EST AINSI QU'APPIA GRANDS TRAVAUX, FILIALE D'EIFPAGE TRAVAUX PUBLICS, A ÉTUDIÉ ET MIS EN ŒUVRE UN PROJET METTANT EN APPLICATION DES TECHNIQUES ROUTIÈRES POUR LA RÉALISATION DU RADIER SUPPORT DES VOIES ET DES QUAIS, PERMETTANT L'ÉVACUATION DES VOYAGEURS ET LE PASSAGE DES RÉSEAUX TECHNIQUES (FIGURE 2).

Le projet consiste à aménager un tunnel ferroviaire composé de deux tubes de 9,20 m de diamètre reliés par des rameaux tous les 200 m. Un radier doit être coulé pour la pose de la voie ferrée. De part et d'autre un quai doit être réalisé. Côté rameau, il permettra l'évacuation des personnels et la mise en place de câbles électriques divers (quai haut); côté extérieur (quai bas), seront enfouis les fourreaux de passage de réseaux techniques (figure 3).

Appia Grands Travaux a imaginé de réaliser ces ouvrages par les techniques du coffrage glissant et d'approvisionner le béton par des engins roulants à partir de centrales installées à environ 1 200 m de l'entrée du tunnel (photo 1). Pour le guidage des machines, un système sans fil a été retenu compte tenu des contraintes et des tolérances demandées.

Un an avant la réalisation de ces aménagements, une première étude de faisabilité a permis de transformer le projet, initialement prévu de façon traditionnelle, en ouvrages pouvant être mis en œuvre avec des machines à coffrages glissants.

Une fois le projet accepté, l'énergie des bureaux d'études s'est concentrée sur la conception et réalisation des matériels évoluant dans un environnement

de tunnel ferroviaire. Ainsi, la machine à coffrage glissant utilisée pour les chaussées en béton, qui se déplace généralement sur une surface plane, et dont la largeur de travail est l'espace entre chenilles, doit se mouvoir dans

un tube et avoir une largeur de travail supérieure à l'écartement entre chenilles. Les machines à béton extrudé utilisées pour les quais, doivent tenir compte, quant à elles, des contraintes liées à l'exiguïté du tunnel.

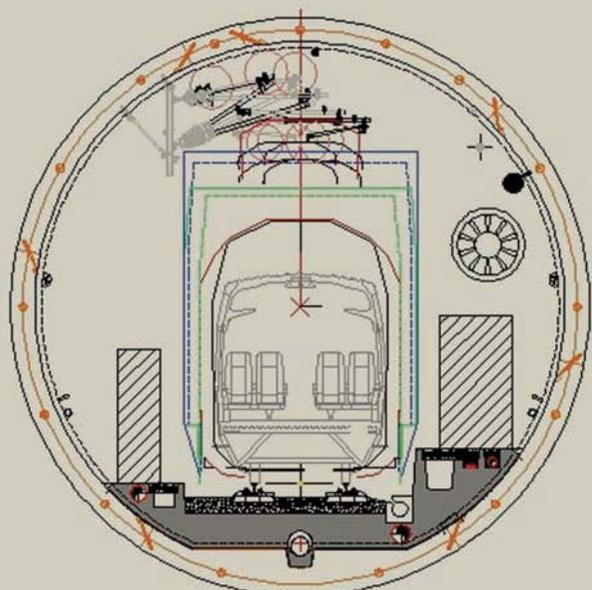
Le matériel retenu est une machine à béton extrudé équipée de quatre trains de chenilles inclinables qui lui permettent de se déplacer en appuis sur les flans du tube, et de tables auxiliaires de bétonnage en arrière de machine.



1- Mise en place de la machine pour radier à l'entrée du tube.

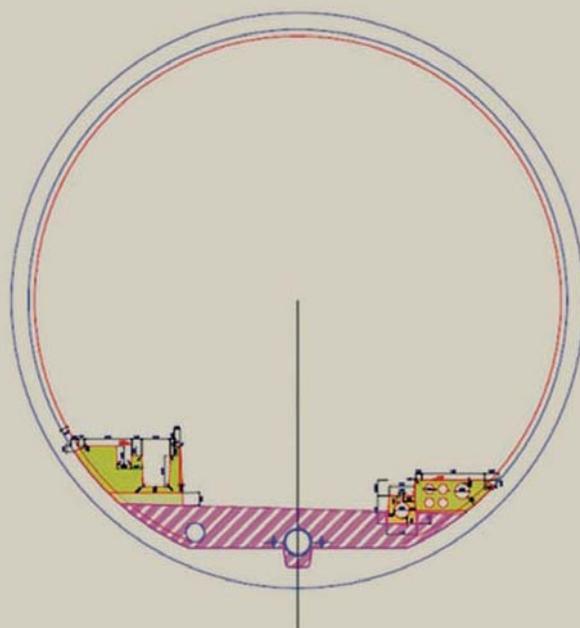
1- Setting up the invert pouring machine at the tube entrance.

SECTION TRAIN DU TUNNEL DU PERTHUS



2

SECTION À RÉALISER



3

Celles qui servent à extruder les quais ont été équipées en trois chenilles, dont une chenille avant étroite, pour tenir compte de l'encombrement et des réseaux devant être intégrés dans l'ouvrage.

À ce stade, la principale difficulté à traiter reste l'approvisionnement en béton des machines, ou plus clairement, comment faire circuler des camions dans un tunnel de plus de 8 km dont le gabarit ne permet aucun croisement

sans aménagement. La solution de véhicules double cabine a été assez rapidement abandonnée au profit de véhicules plus traditionnels.

Pour la partie radier, le choix s'est porté sur des camions courts équipés de bennes de 6 m³. Pour l'approvisionnement des quais, la solution de transport en camion malaxeur traditionnel a été retenue.

En phase de coulage de radier, deux plates-formes de croisement (photo 4),

2- Section train du tunnel du Perthus.

3- Section à réaliser.

4- Plate-forme de croisement.

5- Alimentateur frontal intégrant une plate-forme de retournement.

2- Train section of the Perthus tunnel.

3- Section to be executed.

4- Cross-passage platform.

5- Front-end feeder including an overturning platform.

pourant accueillir jusqu'à neuf camions, et un alimentateur frontal (photo 5) équipé d'une plate-forme de retournement ont été réalisées pour que les camions bennes puissent livrer le béton vers l'atelier, et revenir à la centrale.

Lors de la réalisation des quais (figure 6), le croisement des toupies et de l'atelier de mise en œuvre a pu se faire en phase de coulage du premier quai (quai bas); lors du coulage du second quai, des plates-formes de dépassement ▷

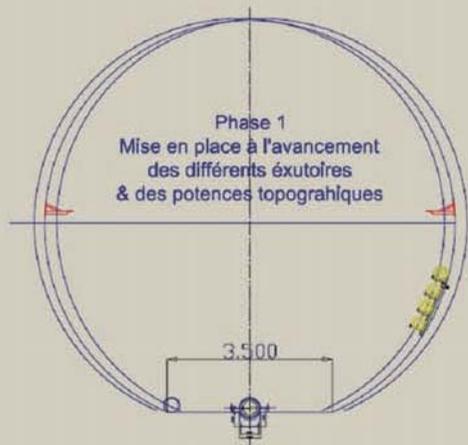


4



5

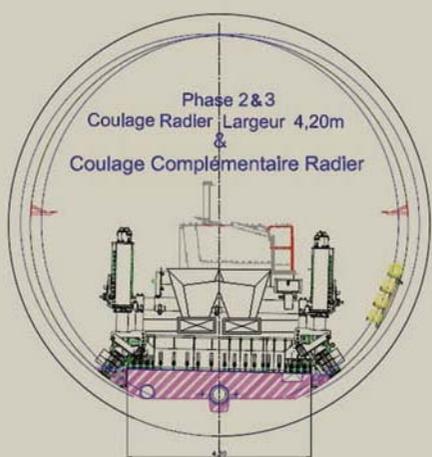
PHASAGE
 DE RÉALISATION



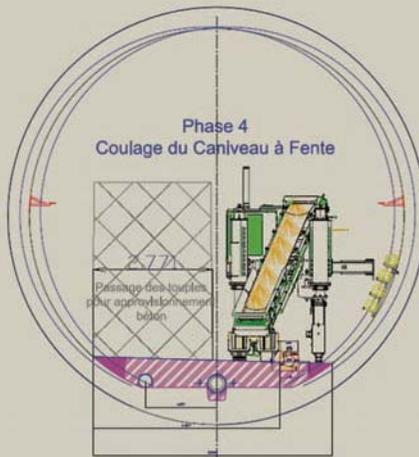
6A

6- Phasage
 de réalisation.

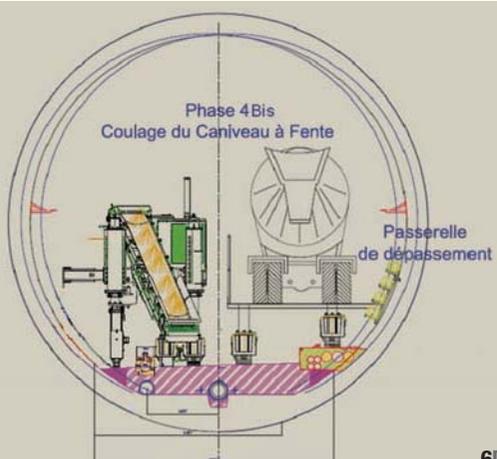
6- Work
 phasing.



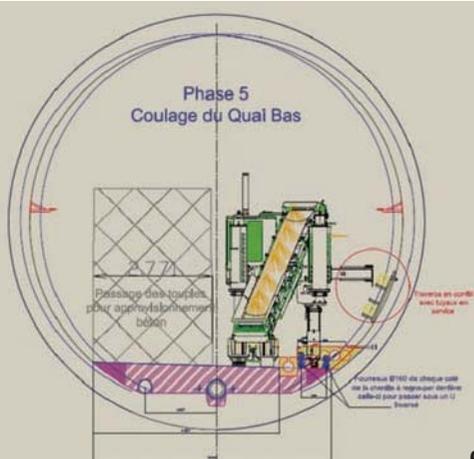
6B



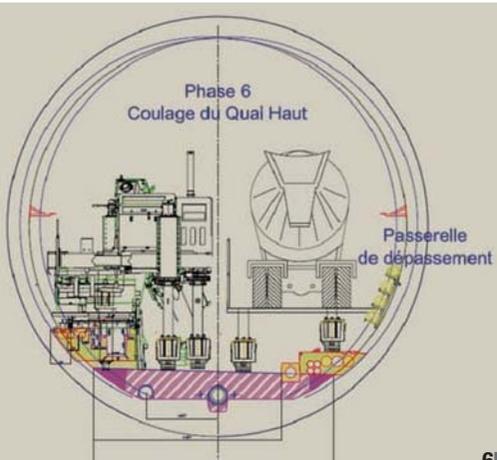
6C



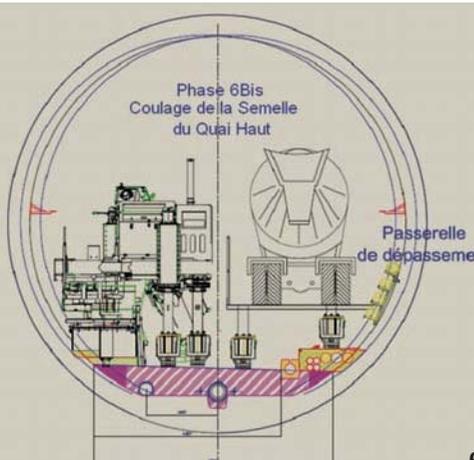
6D



6E



6F



6G



7



8



9

© ETIENNE GERARD - PHOTOTHÈQUE APPRIA GRAND TRAVAUX

permettant d'échapper l'atelier d'application ont été réalisées. Pour des raisons de confinement liées directement à la mise en œuvre de béton dans un tunnel (photo 7) l'ensemble des équipements neufs utilisant des moteurs thermiques respecte la réglementation TIER 3 (matériel américain – machine à coffrage glissant) et Euro 4 (matériel européen – camion benne – plate-forme de retournement – plate-forme de croisement – plate-forme de dépassement). Le radier, à dévers variable, d'épaisseur

moyenne 60 cm pour une largeur de 5,60 m (photo 8), intègre un réseau d'évacuation de produits dangereux équipé de siphons répartis tous les 50 m et un réseau de drainage. Pendant 11 semaines, quatre équipes se sont relayées pour assurer 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 le fonctionnement de l'atelier. Sur cette période, plus de 48 000 m³ de béton ont été approvisionnés à partir d'une centrale mobile de capacité 75 m³/h montée sur l'aire de fabrication attenante au chantier (photo 9).

7- Mise en œuvre du radier.

8- Vue générale du radier.

9- Centrale de fabrication des bétons.

7- Placing the invert.

8- General view of the invert.

9- Concrete mixing Plant.

L'efficacité des techniques employées a maximisé les rendements dépassant les 800 m³ sur deux postes de 12 heures.

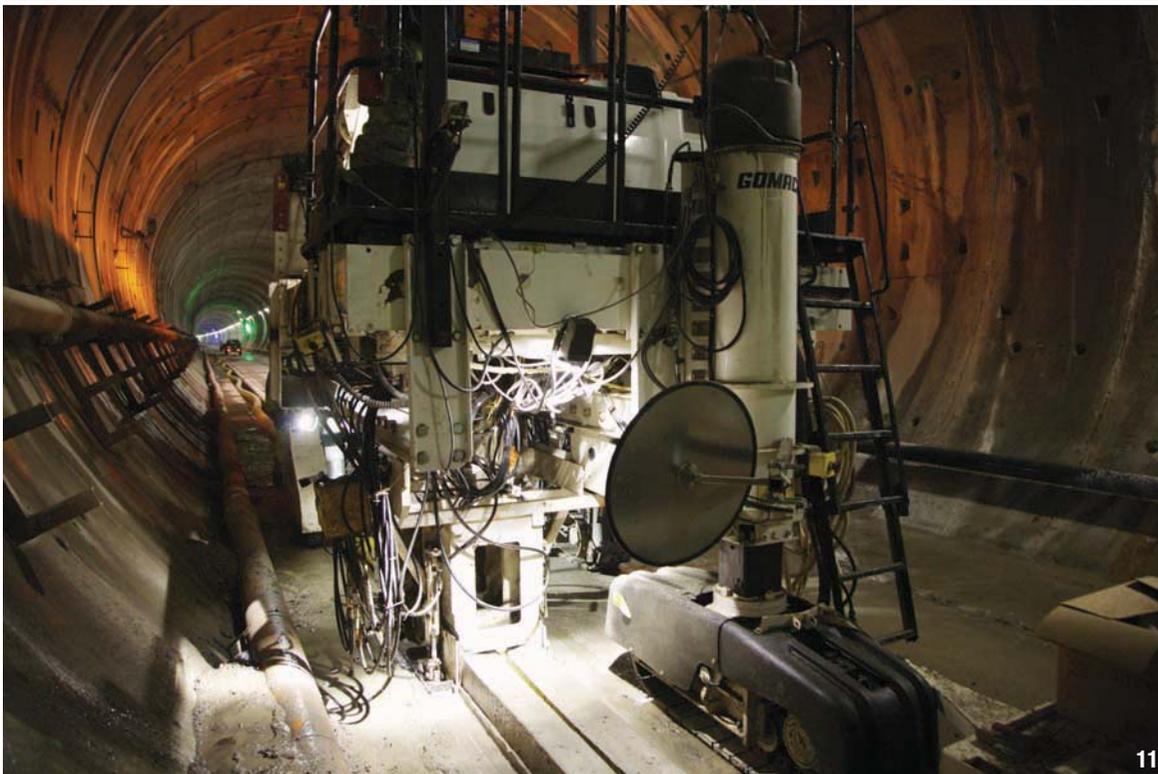
Différents profils en béton extrudé dont deux de caniveaux à fente, un pour le quai bas et deux pour le quai haut, ont été utilisés pour réaliser les quais.

Avant la mise en œuvre des bétons extrudés, des engravures ont été rabotées dans le radier au droit des zones de caniveau à fente qui sont exécutées avant le coulage des quais (photo 10). Ces tronçons de caniveau à fente de ▷



10

10- Rabotage.
 11- Coulage caniveau à fente.
 12- Semelle quai haut.
 13- Quai haut.



11

10- Planing.
 11- Slotted gutter casting.
 12- Footing of high quay.
 13- High quay.



12



13

© ETIENNE GERARD - PHOTOTHÈQUE APPRIA GRAND TRAVAUX

diamètre 250 mm sont reliés par des siphons au réseau de produits dangereux. Ils ont pour vocation de collecter les liquides ruisselant des voies.

Le coulage du quai bas s'est fait en une passe. Le moule a permis d'avalier à l'avancement le tuyau de drainage en place (diamètre 250 mm), ainsi que quatre fourreaux de diamètre 160 mm,

pour la pose des futurs réseaux électriques (photo 11).

Le quai haut, côté rameaux, a été coulé en deux parties : une première (450 l/ml) concernant la semelle inférieure et une seconde (700 l/ml) permettant d'avalier à l'avancement une canalisation incendie et de réaliser deux caniveaux en U qui serviront de gale-

ries techniques séparées (photo 12). L'ensemble des ouvrages liés aux quais représente un volume de béton de 28 000 m³ fabriqué à partir d'une centrale mobile d'une capacité de 50 m³/h montée sur l'aire de fabrication. Le linéaire de chaque ouvrage est de 16 800 ml.

L'efficacité des solutions retenues sur

ce chantier a permis de diviser par deux le délai de réalisation de ces ouvrages (20 semaines au total).

Ces techniques, notamment celle de l'approvisionnement par camions ben-nes, sont particulièrement adaptées aux chantiers urbains et périurbains pour lesquels les centrales peuvent être éloignées du site de creusement. □

ABSTRACT

USE OF HIGHWAY ENGINEERING TECHNIQUES FOR THE DEVELOPMENT OF A RAIL TUNNEL

FRÉDÉRIC GRATESSOLLE

For development work on the Perthus rail tunnel, Eiffage Travaux Publics, through its subsidiary Appia Grands Travaux, proposed to the TP Ferro consortium a plan to use highway engineering techniques for construction of the invert supporting the tracks and quays for evacuation of passengers and routing of technical systems.

The project involves developing a rail tunnel consisting of two tubes of diameter 9.20 m connected by cross-passages every 200 m.

An invert is to be poured for laying the railway track. A quay is to be executed on either side. On the cross-passage side, it will allow evacuation of personnel and the installation of miscellaneous electric cables (high quay); on the outer side (low quay) will be buried the ducts for routing of technical systems. □

SOLUCIONES VIALES PARA LA ORDENACIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO

FRÉDÉRIC GRATESSOLLE

En el marco de la ordenación del túnel ferroviario de Le Perthus,

Eiffage Travaux Publics, por mediación de su filial Appia Grands Travaux ha propuesto a la agrupación TP Ferro un proyecto en que aplica diversas técnicas viales para la realización de la solera de soporte de las vías y de los andenes que permiten la evacuación de los viajeros y el paso de las redes técnicas. El proyecto consiste en la ejecución de un túnel ferroviario formado por dos tubos de 9,20 metros de diámetro conectados por ramales cada 200 metros. Una solera se debe aplicar para el tendido de la vía férrea. Por ambas partes se debe realizar un andén. Por el lado ramal, deberá permitir la evacuación del personal y la implantación de diversos cables eléctricos (andén superior); lado exterior (anden bajo), se enterrarán los manguitos de paso para redes técnicas. □



www.ingerop.com

Des références et des compétences dans le domaine des Infrastructures

- * Etudes générales des besoins de transport
- * Direction de projets ferroviaires
- * Maîtrise d'œuvre d'opérations complexes
- * Conception de grands ouvrages
- * Expertise en équipements et systèmes
- * Approche environnementale et développement durable

Le Groupe
INGÉROP

L'ingénierie partenaire indépendante

L'INSTALLATION DES VOIES FERRÉES

AUTEUR : GERD KURZROCK, DIRECTEUR WITTFELD

UNE PLATE-FORME DE CIRCULATION DEVIENT UNE LIGNE FERROVIAIRE APRÈS INSTALLATION DES VOIES FERRÉES, DU SYSTÈME DE SIGNALISATION ET DES CATÉNAIRES. S'AGISSANT DE LA LGV PERPIGNAN-FIGUERAS, L'ENTREPRISE WITTFELD S'EST VU CONFIER LA POSE DES VOIES SUR LA PLATE-FORME FRANÇAISE. POUR CE FAIRE, WITTFELD A CONSTITUÉ, AVEC LES DEUX ENTREPRISES ESPAGNOLES DE CONSTRUCTION DE VOIES (TECSA ET VIAS), UN CONSORTIUM INTERNATIONAL DÉNOMMÉ STS, EN CHARGE DE LA RÉALISATION DE TOUS LES TRAVAUX DE VOIES FERRÉES. AU SEIN DE CE GROUPEMENT, WITTFELD A ÉTÉ ENGAGÉE À RÉALISER TOUS LES TRAVAUX DU CÔTÉ FRANÇAIS ET À METTRE EN ŒUVRE LE SYSTÈME DE VOIES DANS L'UN DES DEUX TUBES DU TUNNEL.



LA BASE D'APPROVISIONNEMENT DE TRESSERRE

En phase préparatoire, l'entreprise Wittfeld a été amenée à créer une base d'approvisionnement. À ce stade, le seul raccordement au réseau de chemin

de fer existant était situé à Perpignan. Mais, compte tenu des travaux de remise aux normes LGV de la gare de Perpignan, celle-ci était inaccessible. L'entreprise se trouvait donc dans l'obligation de rechercher un autre

1- Transport des éléments préfabriqués.

1- Panels transportation.

moyen d'accès au site de travaux. Ce fut fait grâce à la petite ligne de fret entre Elne et Le Boulou croisant le tracé de la nouvelle LGV à Tresserre. La base d'approvisionnement a pu donc être construite sur un site quelque peu ▷

exigu, avec trois voies permettant la fourniture de ballast et de rails longs.

LA MISE EN PLACE DU BALLAST

Le ballast en provenance d'une carrière espagnole près de Gerona était transporté sur une plate-forme à proximité du site. Là, il était rechargé sur des dumpers avec des pneus basse pression. Deux finisseurs de ballast mettaient en œuvre simultanément les deux couches parallèles de ballast sur une épaisseur de 25 cm environ. Les deux couches de ballast sont séparées par une rainure d'environ 4 cm évitant la rupture des traverses. 600 m de voie étaient ainsi installés par jour travaillé.

LA POSE DE VOIE

Le long de la ligne, des emplacements étaient prévus pour le stockage des traverses avant leur transport par camion.

Pour la pose de voie, les rails longs étaient livrés par train sur le site, puis déchargés par grues spéciales.

Les traverses et les rails étaient ensuite assemblés sur place pour former des éléments préfabriqués, puis transportés par véhicule spécial jusqu'au lieu de pose. Étaient ainsi construits en moyenne par jour, selon ce même procédé, 840 m de voie nouvelle.

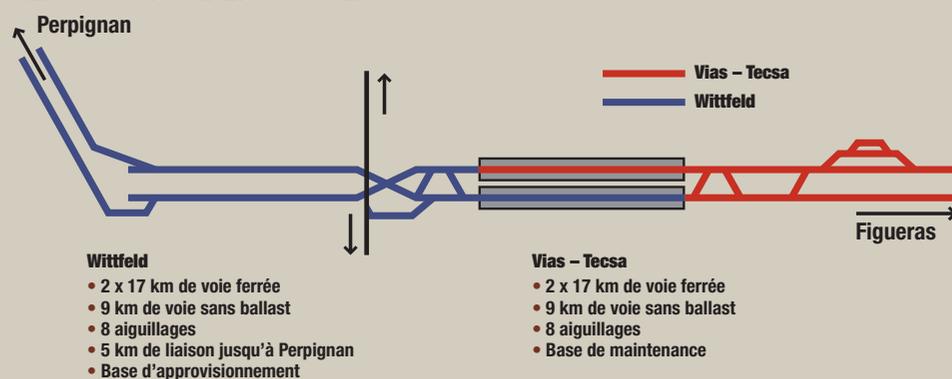
Une fois effectuée la pose de 5 km de voie, cette « usine mobile » se déplaçait jusqu'au lieu d'assemblage suivant. Après la pose de 10 km de voie, celle-ci était alors « bourrée » de ballast par les wagons-trémies, puis redressée et alignée. Le redressement, l'alignement et la stabilisation étaient exécutés selon un plan de qualité préalablement agréé par le maître d'œuvre.

VOIE SUR RADIER SUPPORT EN TUNNEL

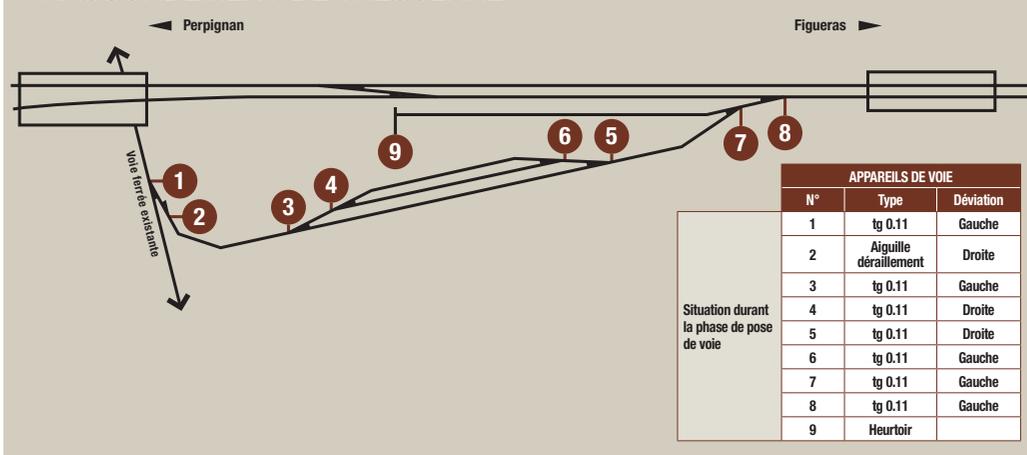
Le planning d'exécution prévoyait la mise en place d'un béton de voie à l'intérieur tunnel du Perthus. Le client avait fait le choix du radier-support Rheda 2000 - licence obtenue auprès de RailOne (Allemagne) et ce, en raison des références de ce système particulièrement adapté à la vitesse de 300 km/h, et en raison également des certifications des éléments constitutifs dans le cadre de l'interopérabilité.

La principale difficulté rencontrée pendant l'exécution des travaux était le transport des matériaux à l'intérieur du tunnel, avec l'obligation d'emprunter un seul tube alors que le deuxième tube était réservé à d'autres travaux concomitants. C'est la raison pour laquelle ►

RÉPARTITION DES TÂCHES



RACCORDEMENT DE TRESSERRE



2- Répartition des tâches.

3- Raccordement de Tresserre.

2- Task sharing.

3- Tresserre connection.

RÉGLEMENTATION ET EXPERTISE

Dans le cadre de ce projet, sont appliquées les normes européennes de construction des lignes ferroviaires de grande vitesse. En cas d'absence de normes, les deux réglementations française et espagnole sont toutes deux valables, et l'entreprise allemande Wittfeld était donc en droit d'appliquer la réglementation française. Or, en matière de voies ferrées, des différences importantes existent entre les procédés allemands et les procédés français de construction de voies. À l'issue de longues discussions avec le client, ce sont les procédés allemands qui ont été retenus, au regard de l'expertise de la Deutsche Bahn.

Procédés Français	Procédés Allemands
Pose des voies directement sur la plate-forme ou sur une couche mince de ballast non compacté.	Mise en place et compactage de la première couche de ballast par engins de terrassement (finisseur et rouleau).
Fourniture et mise en place du ballast exclusivement par wagons-trémies.	Transport du ballast par des camions jusqu'au site.
Compactage et stabilisation du ballast à l'aide de machines « bourreuses ».	Pose des voies avec utilisation de portiques pour le transport d'éléments de voie préfabriqués.
Pose des longs rails soudés (LRS) jusqu'à 400 m.	Installation des longs rails jusqu'à 120 m sans aucune soudure.
Confection en continu de la voie par soudage aluminothermique.	Confection en continu de la voie par soudage par étincelage.

« LA PRINCIPALE DIFFICULTÉ ÉTAIT LE TRANSPORT DES MATÉRIAUX À L'INTÉRIEUR DU TUNNEL AVEC L'OBLIGATION D'EMPRUNTER UN SEUL DES DEUX TUBES »



4



5



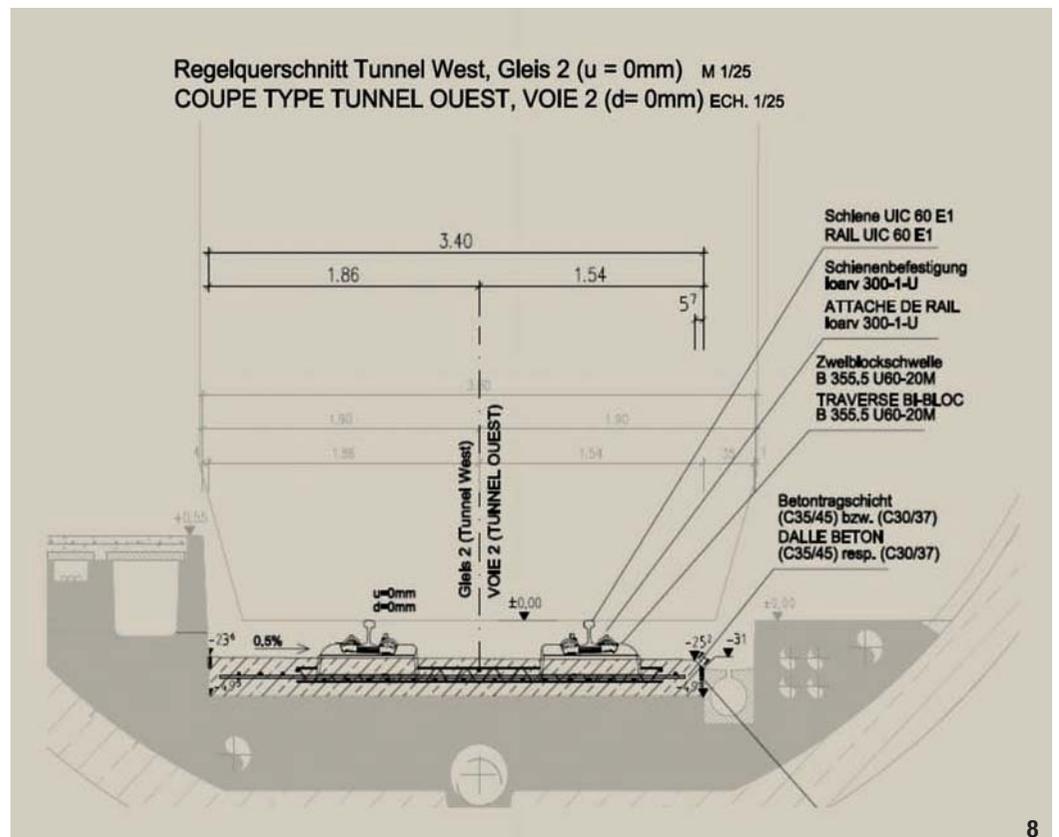
6



7

- 4- Mise en oeuvre du ballast par finisseurs.
- 5- Stockage des traverses.
- 6- Déchargement des rails.
- 7- Transport des éléments préfabriqués.
- 8- Coupe type du tunnel-ouest.

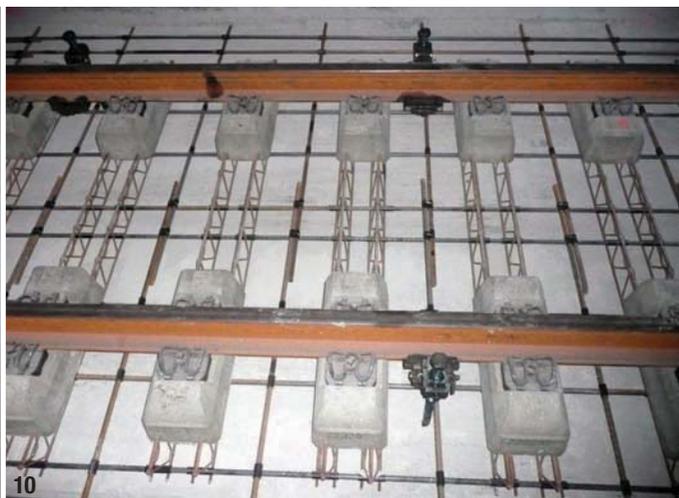
- 4- Assembly of ballast with finishers.
- 5- Storage of sleepers.
- 6- Unloading of rails.
- 7- Transportation of the panels.
- 8- Type section of the western tunnel.



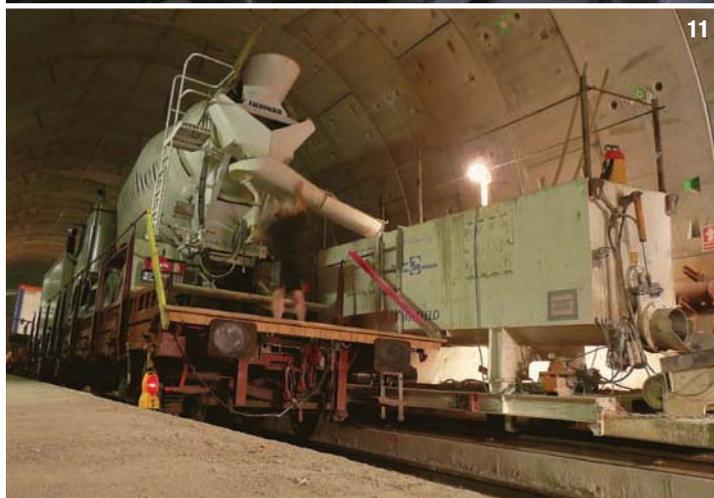
8



9



10



11



12



13

éléments de voie ont été préfabriqués à l'extérieur du tunnel, côté français, puis transportés à l'intérieur tunnel à l'aide de grues portiques.

Une fois la pose de voie terminée, une voie à écartement réduit a été installée le long de la voie nouvelle, sur une longueur de 1 000 m où une locomotive à accumulateur et un wagon spécial assurèrent le transport de béton.

Préalablement à la fixation des voies, il a été nécessaire de déterminer un nouveau système de repérage à l'intérieur du tunnel avec des repères tous les 25 m, afin de respecter les limites de tolérance de la voie.

Un renforcement supplémentaire de la voie a également été réalisé. Le système particulier de signalisation mis en place a nécessité l'isolation électrique de tous les points de contact métallique. Au total, plus de 650 000 clips ont ainsi été incorporés.

Un vissage spécial suivi à l'aide d'un tachymètre a ensuite été réalisé. Après contrôle de l'alignement et de la position définitive, la voie a été fixée au béton.

En raison de l'encombrement lié au tra-

9- Transport des éléments préfabriqués à l'intérieur du tunnel.

10- Renforcement et clips pour la dalle de béton.

11- Rechargement du béton.

12- Mise en oeuvre du béton.

13- Ouvertures d'inspection et syphons dans la dalle.

9- Transportation of panels into the tunnel.

10- Reinforcement and clips of the concrete-slab.

11- Reloading of concrete.

12- Assembly of the concrete in place.

13- Manholes and syphons in the slab.



14

14- Voie sur dalle béton dans le tunnel du Perthus.

14- Slab-track in the Perthus tunnel.

fic de tourisme, une unité de production de béton sur site a été mise en place, apportant une plus grande souplesse de fourniture du matériau. Le béton a été transporté jusqu'à la tête du tunnel par des malaxeurs, chargés sur des wagons plates-formes et introduits dans le tunnel sur la nouvelle voie, aussi loin que la portance de la dalle le permettait. Là, le béton frais était transféré des malaxeurs vers les wagons spéciaux qui attendaient sur la voie à écartement réduit. Ceux-ci se déplaçaient alors sur 300 m environ, jusqu'au site de mise en place. Là, le béton était déchargé à l'aide d'un convoyeur afin d'éviter des irrégularités sous les traverses. À raison de 9 heures chacune, deux équipes se sont alternées pour construire environ 200 m par jour. Parallèlement, les machines étaient

nettoyées et la voie à écartement réduit était construite puis déconstruite au fur et à mesure de l'avancement. Des ouvertures d'inspection des conduites d'évacuation des liquides dangereux étaient pratiquées. Au milieu du tunnel, à son point le plus bas et directement sous la dalle de la voie, une conduite d'évacuation des liquides dangereux a été installée. Des ouvertures d'inspection et des évacuations latérales ont été réalisées tous les 50 mètres. En cas d'accident, les liquides inflammables pourraient se déverser dans le tunnel : deux siphons ont été installés pour éviter la propagation de tout incendie éventuel à l'intérieur du tunnel. Au total, ont été construits 8 374 m de voie sur dalle à l'intérieur du tunnel et 310 m à l'extérieur et ce, pendant une durée de 9 semaines. □

ABSTRACT

INSTALLATION OF THE RAILWAY TRACKS

GERD KURZROCK

A traffic subgrade becomes a railway line after installing the railway tracks, the signalling system and the catenary system.

In the case of the Perpignan-Figueras high-speed train line, the company Wittfeld was awarded the contract for laying the tracks on the French subgrade.

For this purpose, Wittfeld formed, with the two Spanish track construction contractors Tecsa and Vias, an international consortium called STS, in charge of performing all the railway track works. As a member of this consortium, Wittfeld's task was to perform all the works on the French side and to install the track system in one of the two tunnels. □

INSTALACIÓN DE LAS VÍAS FÉRREAS

GERD KURZROCK

Una plataforma de circulación pasa a ser una línea ferroviaria tras instalación de las vías férreas, del sistema de señalización y de las catenarias.

Al tratarse de la LGV Perpignan-Figueras, la empresa Wittfeld fue designada para el tendido de las vías en la plataforma francesa.

Para tal menester, Wittfeld ha constituido, con las dos empresas españolas de construcción de vías (Tecsa y Vias), un consorcio internacional denominado STS, responsable de la ejecución de todos los trabajos de vías férreas. Actuando en el marco de esta agrupación, Wittfeld se ha comprometido para realizar todos los trabajos por el lado francés y poner en obra el sistema de vías en uno de los dos túneles. □

1929 - 2009 : 80 années de travaux

Les Ponts de Cé (49) : Estacade de 560 m

1, rue de Folenrue
B.P. 248
27202 VERNON Cedex
FRANCE

Tel : + 33 2 32 51 74 97
Fax: + 33 2 32 51 57 18
www.leducp.com

Leduc

ESTACADES - PALPLANCHES - PIEUX METALLIQUES - PONTS PROVISOIRES

L'ÉLECTRIFICATION DE LA LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS

AUTEURS : XAVIER FIZEL, DIRECTEUR TECHNIQUE SUR LA BASE TRAVAUX FORCLUM
JEAN-PIERRE COURTOIS, DIRECTEUR DE TRAVAUX, FORCLUM

L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DE LA LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS SE PARTAGE ENTRE QUATRE GRANDS ÉQUIPEMENTS : L'ÉNERGIE DE TRACTION NÉCESSAIRE À L'ALIMENTATION DES TRAINS ; LA CATÉNAIRE, SUPPORT POUR LA TRANSMISSION DE CETTE ÉNERGIE AUX TRAINS ; L'ALIMENTATION, VIA LES BÂTIMENTS TECHNIQUES, DES ÉQUIPEMENTS INSTALLÉS LE LONG DE LA LIGNE ; ET ENFIN L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES ÉQUIPEMENTS DU TUNNEL.

ALIMENTATION DES TRAINS : LA SOUS-STATION DE LE SOLER

L'alimentation des trains, via la caténaire, se fait en 2 x 25 000 V.

Cette énergie est fournie par la sous-station de traction située sur la commune de Le Soler, permettant d'alimenter toute la section internationale.

La sous-station de Le Soler est alimentée en 2 x 225 000 V à partir du réseau RTE (Réseau de transport d'électricité, le gestionnaire du réseau français d'électricité) via deux lignes d'alimentation redondantes, branchées en continu, issues de la sous station-électrique RTE de Baixas.

Ces deux lignes alimentent, à Le Soler, deux transformateurs d'une puissance de 60 MVA chacun. En mode nominal, un seul transformateur alimente les caténaires (photo 2).

La connexion avec la ligne Barcelone-Figueras permettra d'alimenter une partie de la section internationale depuis une sous-station située à Santa Llogaia, en Espagne, de fourniture Adif (Administrador de infraestructuras ferroviarias, gestionnaire public du réseau ferroviaire national espagnol), dimensionnée pour alimenter l'ensemble de la section internationale en cas de perte de l'ensemble de la sous-station de Soler.

Afin de compenser la chute de tension des caténaires le long de la ligne et de filtrer les variations de la valeur de tension, cinq CAT (centre d'autotransformation) sont disposés le long de la section internationale.

Ces CAT sont équipés de deux auto-transformateurs d'une puissance de 15 MVA chacun.

CATÉNAIRE : PERMETTRE UNE CIRCULATION À 350 KM/H

Issue de la même technologie que celle employée sur la ligne Madrid-Lérida, la caténaire permettra de circuler sur la ligne à 350 km/h. Elle permet le captage du courant par le pantographe des trains le long de leur parcours. Les fils de contact sont suspendus par des pendules à des porteurs. L'ensemble est maintenu à une tension constante de 29 kN via des appareils tendeurs à intervalles réguliers. Pour des raisons d'exploitation, la caténaire est découpée en sections électriques, isolées par des dispositifs de coupure appelés sectionneurs à lame d'air et commandées par des interrupteurs électriques depuis le centre de contrôle de la tête nord du tunnel. Sur la section internationale, on compte 17 sections électriques, dont deux composent une « zone neutre ». Celle-ci permet l'isolation et la séparation de l'alimentation côté français (SST Le Soler) de l'alimentation côté espagnol (SST Santa Llogaia). Au niveau des voies de raccordement (ligne classique) à Perpignan, l'alimentation via la caténaire se fait en 1 500 V. Une zone spécifique appelée section de séparation de tension a été installée afin de permettre la séparation entre le 1 500 V et le 25 000 V, et d'assurer la continuité de circulation des trains.

ALIMENTATION DES BÂTIMENTS TECHNIQUES

Le système d'alimentation des bâtiments techniques est de type « normal-secours ». En situation normale, l'alimentation auxiliaire des bâtiments est assurée

via le feeder négatif de la caténaire. Côté français, chaque bâtiment technique dispose d'une alimentation de secours EDF dédiée. Côté espagnol, l'alimentation de secours est délivrée par un réseau de 950 VCA interne alimenté par le réseau d'Endesa.

La tension utilisée correspond à un optimum technico-économique compte tenu de la longueur de la ligne d'alimentation. L'alimentation de secours des bâtiments techniques situés à proximité immédiate du tunnel est fournie par le réseau d'alimentation propre du tunnel. Elle intervient en cas de perte de l'alimentation nominale de la caténaire suite à une panne ou à une opération de maintenance, et permet de garantir le fonctionnement continu des installations grâce aux batteries présentes dans l'ensemble des bâtiments techniques.

CINQ CENTRES D'AUTOTRANSFORMATION (CAT) SONT DISPOSÉS LE LONG DE LA SECTION INTERNATIONALE

ALIMENTATION DU TUNNEL

Deux lignes d'alimentation dédiées ont été acheminées pour l'alimentation des équipements du tunnel. Elles sont issues du poste source haute tension RTE 63 kV d'Aspres. Deux tranchées séparées ont été réalisées afin de garantir une parfaite redondance de l'alimentation. La distribution électrique est réalisée en 20 kV. Les deux lignes 20 kV fonctionnent en parallèle.

En nominal, chacune fonctionne à 50 % et est capable de reprendre la charge de l'autre ligne en cas de défaillance de celle-ci (fonctionnement à 100 %).

La distribution moyenne tension est réalisée à travers six centres de transformation (deux salles techniques extérieures et quatre rameaux techniques intérieurs). ▷



2



3



4



5



6

2- Sous-station « Le Soler » 2 x 60 MVA.
 3 & 4- Équipements de la caténaire.
 5- Un réseau spécifique d'automatisme contrôle l'ensemble des équipements électrotechniques.
 6- Tableau de contrôle de l'électrification de la ligne.

2- «Le Soler» station 2 x 60 MVA.
 3 & 4- The catenary equipment.
 5- A specific automatic control network controls all electrical equipment.
 6- Line electrification control panel.

Chaque salle technique alimente une zone géographique dans le tunnel. Dans chaque centre de transformation, il y a deux transformateurs de puissance (chacun alimenté par une artère HT), fournissant chacun du 690 V et du 400 V. Un système de commutation installé dans les tableaux généraux 690 V et 400 V permet d'alimenter les deux réseaux basse tension depuis un seul transformateur. Un réseau spécifique d'automatisme contrôle l'ensemble de ces équipements électrotechniques (photo 5).

POSTE DE CONTRÔLE D'ÉNERGIE
 Pour l'exploitation et la maintenance, des postes dédiés à la télécommande du sous-système d'énergie sont installés au PCL (poste de contrôle de la section internationale situé à la tête nord du tunnel), ainsi qu'en local à la sous-station. Deux équipements d'automatisme ont été déployés pour le contrôle de chaque élément de l'électrification : un automatisme de contrôle-commande de la sous-station de Soler et des CAT, et un automatisme de contrô-

le-commande des sectionneurs de caténaire et d'alarmes techniques des bâtiments. L'ensemble des alarmes, informations de position et informations des niveaux de tension est rapatrié sur ces postes centraux. La majeure partie des organes électriques étant commandables à distance, les opérateurs de TP Ferro reçoivent donc en temps réel, au poste de contrôle local de la tête nord du tunnel, l'ensemble des informations nécessaires à la conduite de l'électrification de la ligne (photo 6). □

ABSTRACT

ELECTRIFICATION OF THE PERPIGNAN-FIGUERAS LINE

SIDOINE SERRAJ, FORCLUM - MARC FARDEL, FORCLUM - JEAN-PIERRE COURTOIS, FORCLUM

The electric power supply for the Perpignan-Figueras line is divided among four major devices: the traction energy needed to power the trains; the catenary system, for transmission of this energy to the trains; the power supply, via the utilities buildings, for equipment set up along the line; and finally the electric power supply for the tunnel equipment. □

ELECTRIFICACIÓN DE LA LÍNEA PERPIÑÁN-FIGUERAS

SIDOINE SERRAJ, FORCLUM - MARC FARDEL, FORCLUM - JEAN-PIERRE COURTOIS, FORCLUM

La alimentación eléctrica de la línea Perpiñán-Figueras se desglosa entre cuatro grandes equipamientos: la energía de tracción necesaria para la alimentación de los trenes; la catenaria, soporte para la transmisión de esta energía a los trenes; la alimentación, via los edificios técnicos, diversos equipamientos instalados a lo largo de la línea; y finalmente la alimentación eléctrica de los equipamientos del túnel. □



© FRÉDÉRIC HEDELIN / TP FERRO

LA SIGNALISATION SUR LA LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS

AUTEURS : SIDOINE SERRAJ, CHEF DE PROJET SIGNALISATION, FORCLUM - JEAN-MICHEL GRAVE, DIRECTEUR TECHNIQUE FORCLUM

SUR LA SECTION INTERNATIONALE DE LA LIGNE PERPIGNAN-FIGUERAS, LE SYSTÈME DE SIGNALISATION IMPLÉMENTÉ EST L'ERTMS (EUROPEAN RAILWAY TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM), QUI CORRESPOND AU NOUVEAU STANDARD EUROPÉEN POUR LES LIGNES GRANDE VITESSE DITES INTEROPÉRABLES. IL PERMET D'ÉLIMINER LES PROBLÈMES POSÉS AU PASSAGE DES FRONTIÈRES PAR LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE SIGNALISATION SPÉCIFIQUES À CHAQUE PAYS.

UN SYSTÈME UNIQUE DE SIGNALISATION

Rappelons tout d'abord que la signalisation ferroviaire correspond aux systèmes et équipements installés permettant de communiquer au conducteur les informations nécessaires à la circulation sur

la ligne en toute sécurité. Elle permet également à l'exploitant (ici TP Ferro) de connaître, en temps réel, les informations sur le trafic. Historiquement, chaque pays avait implémenté son propre système de signalisation (KVB ou TVM en France, Asfa en Espagne...),

ce qui, pour les réseaux nationaux, ne posait jusque-là aucune difficulté. Le problème se pose aux passages des frontières, puisque pour qu'un train puisse être « reconnu » et pour interpréter les données de signalisation du pays concerné, il faut qu'il soit équipé

de chacun des systèmes. Le système ERTMS, mis en oeuvre par l'Union européenne, permet de faire tomber ces frontières et d'avoir un système unique de signalisation pour les lignes interopérables, dont la section internationale fait partie. Ainsi, tout train équipé du ▷



1

système ERTMS (ici TGV ou Talgo) peut circuler en toute sécurité et sans arrêt à travers plusieurs pays.

La section internationale était évidemment inscrite dans le plan de développement de l'interopérabilité européenne. Le déploiement de ce nouveau système de signalisation est relativement récent en Europe, puisque, en France, seule la nouvelle ligne grande vitesse Est est aujourd'hui équipée, et, en Espagne, seule la ligne Madrid-Barcelone.

Au niveau des performances, l'ERTMS permet un espacement des trains de 2 min 30 s à une vitesse de 350 km/h.

Deux niveaux de l'ERTMS ont été implémentés sur la section internationale permettant de fonctionner aussi en mode dégradé :

→ L'ERTMS niveau 1 : le système est basé sur une information ponctuelle transmise au train par l'intermédiaire de balises implantées au sol entre les rails, proches des signaux lumineux ;

→ L'ERTMS niveau 2 : le système est basé sur une information continue transmise via un système de radio dédié au ferroviaire, le GSM-R (global system for mobile communications – railways), entre le centre de contrôle et le train. Dans ce niveau, les signaux lumineux ne sont plus utiles.

Ces deux niveaux reposent sur le même principe, avec des équipements communs nécessaires aux calculs et transmissions de l'information.

ÉQUIPEMENTS COMPOSANT LE SYSTÈME

Ces équipements comprennent :

→ Eurobalises : support d'information pour l'échange ponctuel des données avec le train. Deux types d'information sont transmis : fixes et/ou variables (dépendant de la position du train et des signaux) ;

→ Circuits de voie : circuit électrique posé sur les rails permettant de détecter la présence d'un train par section de voie (de 400 à 1 500 m) ;

→ Signaux latéraux : repères installés le long de la voie servant de point d'arrêt pour les conducteurs. Deux types sont installés sur la section internationale : des repères lumineux (autorisation de mouvement ou arrêt) et des repères fixes composés d'une pancarte ERTMS (flèche jaune sur fond bleu) ;

→ Des calculateurs déportés dans chaque bâtiment technique le long de la ligne, permettant le contrôle d'une zone de la ligne (informations des circuits de voie, des balises et contrôle des aiguilles et signaux lumineux) ;

« **TOUT TRAIN ÉQUIPÉ DU SYSTÈME ERTMS PEUT CIRCULER EN TOUTE SÉCURITÉ ET SANS ARRÊT À TRAVERS PLUSIEURS PAYS** »

→ Un calculateur central, l'enclenchement électronique, calculant les itinéraires possibles du train, et contrôlant ainsi les aiguilles et les autorisations de mouvement ;

→ Un calculateur RBC (radio block control) assurant la transmission des informations au train via le réseau de radio GSM-R ;

→ Des postes opérateurs installés au poste de contrôle local situé à la tête nord du tunnel, permettant à l'exploitant de visualiser et de contrôler l'ensemble des informations de la signalisation ;

→ Un système GSM-R composé de : 11 antennes radio doublées et réparties le long de la ligne pour garantir une couverture radio permanente ; des émetteurs radio également répartis le long de la ligne au niveau des antennes ; des calculateurs centraux gérant les communications (voix et données) entrantes et sortantes ;

→ Un réseau de télécommunications sécurisé équipant l'ensemble des loges techniques et permettant la transmission des informations de signalisation (figure 2).

Sur la section internationale, cela a représenté, en termes d'équipements, plus de 300 balises installées le long de la ligne, plus d'une centaine de circuits de voie sectionnant la ligne, plus de 80 signaux, dont environ 40 lumineux, et plus de 1 000 km de câbles tirés le long de la ligne.

ESSAIS DE VALIDATION

Un processus de validation rigoureux a été suivi tout au long du projet afin de garantir, de la définition des paramètres aux essais sur site, un respect des exigences de sécurité. Il a nécessité différentes phases d'essais en plateforme avec des simulateurs, un suivi particulier de l'installation, et différents essais sur site pour finir par les essais d'intégration.

Afin de tenir les délais et d'assurer la qualité de l'installation, beaucoup d'entreprises et de personnels hautement qualifiés ont été impliqués dans le tirage de câbles le long des voies, les connexions des équipements sur voie, le raccordement dans les bâtiments techniques, le paramétrage des équipements, le raccordement méticuleux des fibres optiques nécessaires au réseau de télécommunication, les essais et le contrôle de la réalisation, ainsi que la signalisation en surface et en tunnel (photos 1 et 3).

L'ensemble de ces informations est remonté à un poste central de gestion du trafic situé au PCL (poste de contrôle de TP Ferro). Ce poste centralisé possède des informations avancées facilitant la gestion du trafic pour les opérateurs : position des trains, alarmes techniques, télécommandes des aiguilles, commande des itinéraires, graphique en temps réel des trains (programmation théorique-réelle), rapports d'évènements, etc.

Toutes ces fonctions ont été adaptées spécifiquement pour la section internationale (figure 4).

À l'avenir, la gestion de la section Perpignan-Figueras devrait être effectuée, comme pour l'ensemble de la ligne Perpignan-Barcelone, depuis un poste central réalisé par le gestionnaire du réseau ferroviaire espagnol (Adif) à Barcelone. □

1- Un processus de validation de la signalisation a été suivi tout au long du projet.

2- Un réseau de télécommunications sécurisé équipe l'ensemble des loges techniques et transmet les informations de signalisation.

3- Signalisation en tunnel.

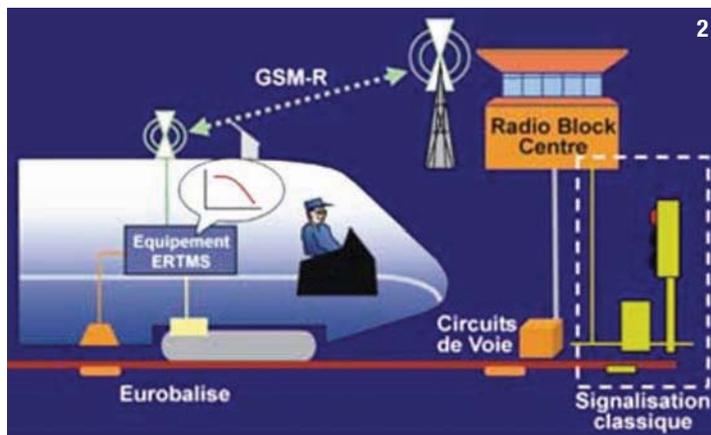
4- Poste de contrôle de signalisation de TP Ferro.

1- A signalling validation process was complied with throughout the project.

2- A secure telecommunications network equips all the control cabs and transmits signalling information.

3- Signalling in tunnel.

4- TP Ferro signalling control station.



ABSTRACT

SIGNALLING ON THE PERPIGNAN-FIGUERAS LINE

SIDOINE SERRAJ, FORCLUM - JEAN-MICHEL GRAVE, FORCLUM

On the international section of the Perpignan-Figueras line, the signalling system implemented is ERTMS (European Railway Traffic Management System), which is the new European standard for so-called interoperable high-speed train lines. It helps eliminate the problems posed at border crossings by the different signalling systems implemented in each country. □

LA SEÑALIZACIÓN EN LA LÍNEA PERPIÑÁN-FIGUERAS

SIDOINE SERRAJ, FORCLUM - JEAN-MICHEL GRAVE, FORCLUM

En el tramo internacional de la línea Perpiñán-Figueras, el sistema de señalización implementado es el ERTMS (European railway traffic management system), que corresponde a la nueva norma europea para las líneas de alta velocidad denominadas interoperables. Este sistema permite eliminar los problemas que ocurren durante el paso de las fronteras por los distintos sistemas de señalización implementados en cada país. □

LES ÉQUIPEMENTS DU TUNNEL DU PERTHUS

AUTEURS : STÉPHANE DUFRESNE, INGÉNIEUR ÉQUIPEMENTS, FORCLUM - VINCENT RICHARD, INGÉNIEUR MISE EN SERVICE, FORCLUM - ÉRIC VANDAMME, DIRECTEUR DE TRAVAUX ADJOINT, FORCLUM

AU CŒUR DE LA LIGNE À GRANDE VITESSE PERPIGNAN-FIGUERAS, LE TUNNEL DU PERTHUS SE COMPOSE DE DEUX TUBES DE 8,3 KM. SIX SALLES TECHNIQUES D'ALIMENTATION SONT RÉPARTIES LE LONG DU TUNNEL, DONT DEUX EXTÉRIEURES AUX EXTRÉMITÉS NORD ET SUD. LES DEUX TUBES SONT RELIÉS PAR 41 RAMEAUX D'ÉVACUATION ESPACÉS DE 200 M. CHAQUE RAMEAU EST ÉQUIPÉ DE DEUX PORTES COUPE-FEU. EN CAS D'ÉVACUATION, ILS PERMETTRONT AUX PERSONNES D'ÉVACUER LE TUBE AFFECTÉ, DE REJOINDRE RAPIDEMENT LE TUBE « SAIN » ET, INVERSEMENT, OFFRIRONT UNE VOIE D'ACCÈS AUX SERVICES DE SECOURS DEPUIS LE TUBE SAIN.



UN DOUBLE SYSTÈME DE DÉTECTION INCENDIE

Les risques associés aux tunnels ferroviaires ont nécessité l'implémentation des meilleurs systèmes de détection, de communication et d'intervention, permettant d'assurer une sécurité maximale et une disponibilité optimale. La sécurité dans le tunnel est assurée en partie par le système de détection incendie, composé de deux systèmes de technologies différentes permettant d'assurer la redondance de détection. Le premier est une fibre optique thermosensible déployée le long du tunnel qui permet de localiser au mètre près un départ de feu. Le second est composé de 16 opacimètres, qui aspirent l'air du tunnel et l'analysent pour en déduire la présence de fumée. Le tout est relié au système de signalisation

afin d'arrêter la circulation des trains en cas d'incendie, de prévenir le poste de contrôle pour la mise en place du plan d'urgence et de permettre l'intervention des services de secours.

Un système de détection et d'extinction automatique dédié a été déployé au sein des salles techniques d'alimentation, ce qui permet de maîtriser instantanément un départ de feu provenant, par exemple, du dysfonctionnement d'un équipement électrique.

UN RÉSEAU D'EXTINCTION À L'INTÉRIEUR DU TUNNEL

La longueur du tunnel a nécessité la conception et l'installation d'un réseau d'extinction incendie à l'intérieur du tunnel. Ce réseau parcourt les deux tubes et est interconnecté au niveau de chaque rameau. Deux locaux « pom-

1- Le tunnel du Perthus représente le cœur de la LGV.

2- Système de ventilation automatique.

3- Les systèmes d'éclairage comptent 2 500 luminaires.

1- Perthus Tunnel is the heart of the high-speed train line.

2- Automatic ventilation system.

3- The lighting systems comprise 2,500 lighting fixtures.

pes » dotés chacun d'un réservoir, de deux pompes principales et d'une pompe d'appoint de pression permettent la mise sous pression des 18 km de tube (diamètre 150 mm), offrant ainsi une double redondance car une seule pompe pourrait subvenir au débit d'eau dont ont besoin les pompiers. L'ensemble, entièrement automatisé, détecte toute anomalie sur le réseau, le reconfigure de façon optimale et assure à tout moment le débit d'eau nécessaire aux services de secours (via 360 hydrants compatibles avec les équipements des services de secours français et espagnols).

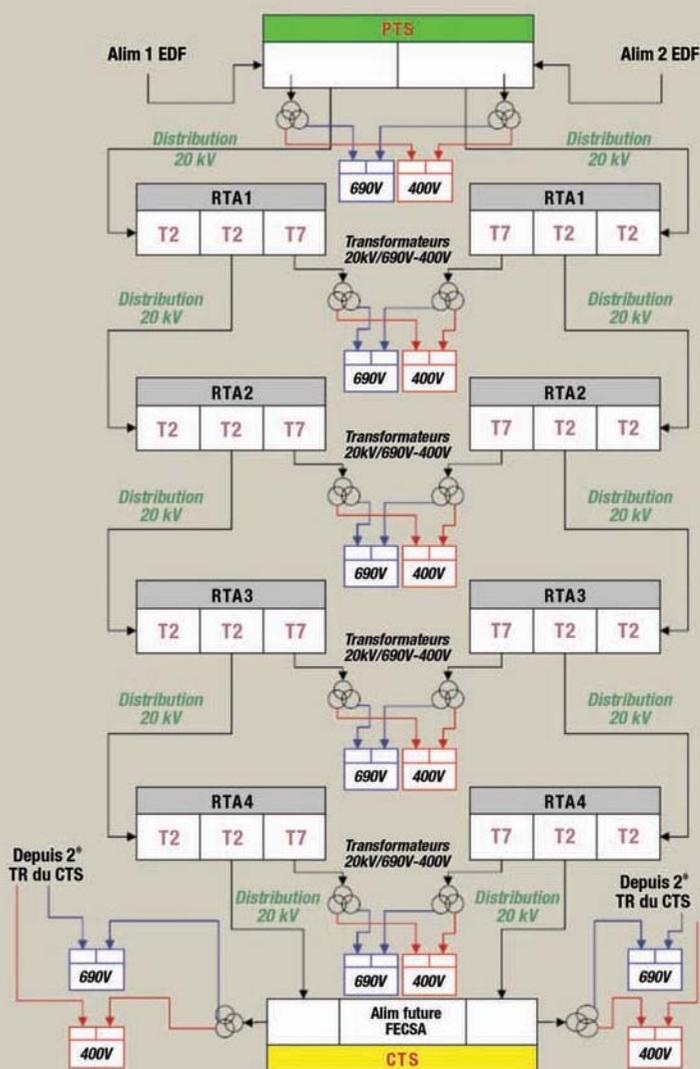
DISPOSITIFS D'ÉVACUATION

Le tunnel est aussi doté d'un système de ventilation automatique, composé de 64 ventilateurs prêts à assurer la ▷



RÉSEAU D'ALIMENTATION

4



4- Réseau d'alimentation.
5- Salle technique.
6- L'intégration jusqu'au poste de contrôle.

4- Power supply network.
5- Technical room.
6- Integration through to the control station.

canalisation et la dilution d'éventuelles fumées (photo 2).

En cas de nécessité d'évacuation de passagers ou de personnel de maintenance, il est primordial que les personnes soient le moins possible gênées par les émissions de fumée. Le système prend en compte la position du feu, la localisation du train et le flux d'air établi mesuré par le DFAT (détecteur de flux d'air du tunnel), et propose à l'opérateur du poste de contrôle le scénario de ventilation (nombre de ventilateurs à mettre en marche, sens de ventilation le plus adapté).

Dans le scénario d'une évacuation, les personnes sont guidées grâce à un ensemble de signalétiques lumineuses ou réfléchissantes jusqu'au point d'évacuation le plus proche.

Les portes des rameaux d'évacuation sont dotées de contacts d'ouverture, ce qui permet de connaître les voies d'évacuation empruntées.

De l'autre côté des rameaux, des lampes flash signalent les rameaux dont les portes ont été ouvertes, ce qui permet la localisation rapide par les services de secours des personnes en cours d'évacuation.

Dans le même temps, les ventilateurs et clapets des rameaux contribuent à pressuriser l'enceinte des locaux et empêchent la propagation de la fumée dans les voies d'évacuation.

SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS

Le système de communications des services de secours Tetra-Tetrapol permet aux pompiers de communiquer à l'intérieur du tunnel.

Tetra-Tetrapol présente une particularité dans ce projet, car il a fallu combiner le système espagnol avec le système français par l'intermédiaire d'une passerelle de communication pour rendre transparents les échanges des pompiers de chaque côté de la frontière.

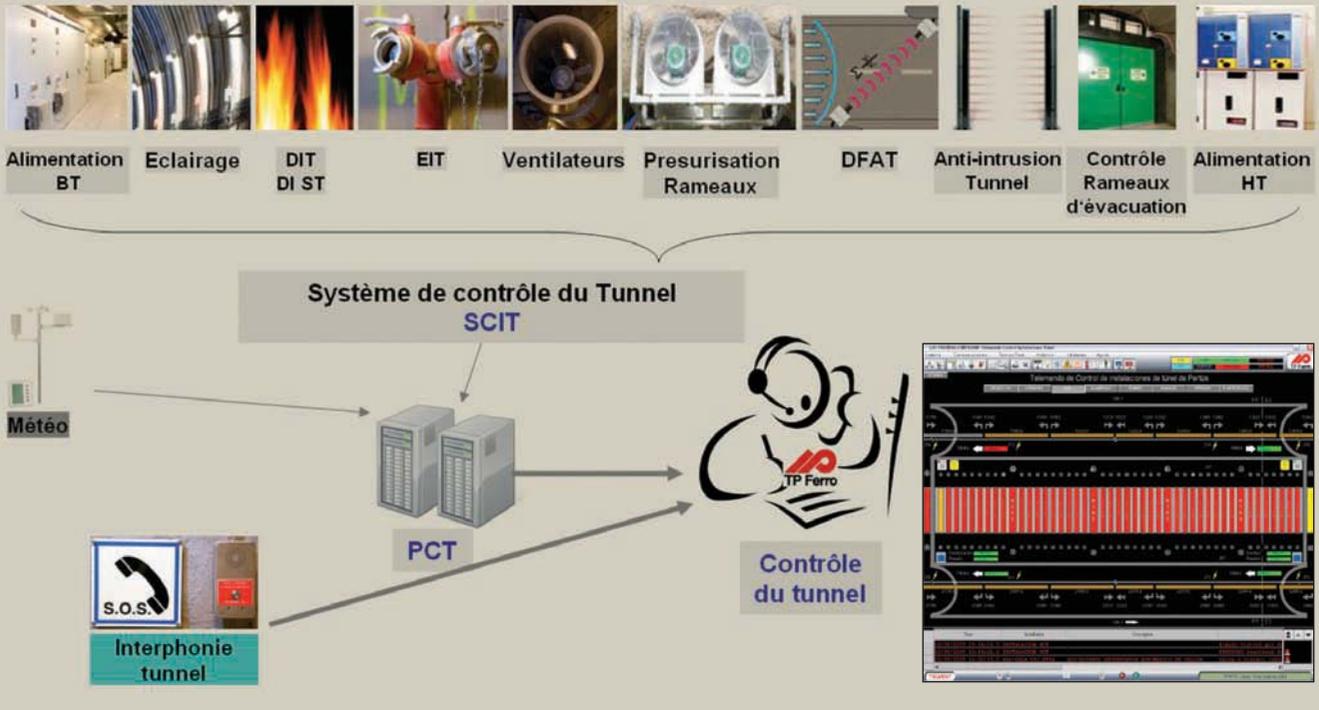
En complément, des interphones sont installés dans chaque rameau et permettent de communiquer avec les postes de contrôle en phase d'urgence mais aussi en phase opérationnelle, par exemple lors d'opérations de maintenance. Le service GSM-R, qui permet la communication sol-train, est assuré dans le tunnel par un câble « radiant », qui parcourt l'ensemble du tunnel et permet l'émission et la réception des informations transitant sur le réseau GSM-R.

C'est aussi un média additionnel sur lequel les secours peuvent communiquer via des téléphones portables spécifiques. Les systèmes d'éclairage



5

L'INTÉGRATION JUSQU'AU POSTE DE CONTRÔLE



comptent 2 500 luminaires répartis en trois catégories : l'éclairage normal redondant avec l'éclairage d'urgence, lui-même secouru par un réseau de batteries, et enfin l'éclairage de maintenance (photo 3).

L'accès au tunnel est restreint et contrôlé par des détecteurs intrusions et un système de vidéosurveillance. Le transport de fret, et notamment de produits dangereux, est pris en compte au niveau du tunnel par l'installation d'un drainage et d'une rétention des matières dangereuses qui pourraient se répandre suite à un incident dans l'enceinte du tunnel. Des capteurs ont également été installés pour l'auscultation afin de surveiller en temps réel le comportement du tunnel.

RÉSEAU D'ALIMENTATION

L'ensemble de ces équipements nécessite une source d'alimentation d'une disponibilité maximale. Le réseau d'alimentation est composé d'une boucle 20 kV indépendante qui prend sa source à la tête nord du tunnel via deux arrivées ErDF. Cette boucle englobe le tunnel par les deux tubes. Dans les six salles techniques d'alimentation, on trouve 12 transformateurs de 1 000 kVA qui abaissent la tension à 690 V (alimentation des ventilateurs) et 400 V pour alimenter les trois réseaux d'éclairage et les 200 tableaux basse tension du tunnel (figure 4). Cette multitude de systèmes est contrôlée via des automates de sécurité déployés dans l'ensemble du tunnel grâce à des modules d'entrée-

sortie (plus de 12 000 points) déportés communicants sur un réseau de fibre optique dédié. Les temps de câblage et d'essais ont été optimisés grâce à l'utilisation innovante de tableaux basse tension communicants (photo 5).

SUPERVISION DES INSTALLATIONS DE SÉCURITÉ

Le tout est supervisé depuis le poste de contrôle local du Perthus (PCL), où l'opérateur dédié à la gestion du tunnel peut contrôler et piloter à distance l'ensemble des équipements (figure 6). Le PCT (poste de contrôle du tunnel), situé au PCL, est dédié à la gestion totale des équipements du tunnel. Des « vues » spécifiques ont été développées afin de regrouper les infor-

mations de sécurité et de faciliter les décisions de l'opérateur du tunnel.

Le PCT reçoit ainsi, en temps réel, l'ensemble des alarmes de sécurité ainsi que les alarmes techniques des équipements, mais également la position des équipements (portes, interrupteurs, disjoncteurs, etc.). La plupart des équipements du tunnel étant commandables à distance, le PCT permet à l'opérateur de tout contrôler depuis le PCL (ventilateurs, éclairages, etc.). Des informations externes complémentaires ont également été intégrées afin de faciliter les décisions de l'opérateur en cas de situation d'urgence, comme la position du train dans le tunnel, l'état d'alimentation de la caténaire, les données des stations météorologiques, etc. □

ABSTRACT

PERTHUS TUNNEL EQUIPMENT

STÉPHANE DUFRESNE, FORCLUM - VINCENT RICHARD, FORCLUM

At the heart of the Perpignan-Figueras high-speed train line, the Perthus Tunnel is an 8.2 km twin-tube. Six power supply equipment rooms are distributed along the tunnel, including two outside at the North and South ends. The two tubes are connected by 41 evacuation cross-passages spaced 200 m apart. Each cross-passage is fitted with two fire doors. In the event of an evacuation, they will enable people to evacuate the tube affected and rapidly regain the «healthy» tube and, conversely, will provide an access path for emergency aid services from the healthy tube. □

LOS EQUIPAMIENTOS DEL TÚNEL DE LE PERTHUS

STÉPHANE DUFRESNE, FORCLUM - VINCENT RICHARD, FORCLUM

En pleno centro de la línea de alta velocidad Perpignan-Figueras, el túnel de Le Perthus se compone de dos tubos de 8,2 km. Seis centros técnicos de alimentación van repartidos en toda la longitud del túnel, dos de los cuales exteriores a las extremidades Norte y Sur. Ambos tubos van unidos por 41 ramales de evacuación espaciados de 200 metros. Cada ramal está dotado de dos puertas contra incendios. En caso de evacuación, permitirán a las personas evacuar el tubo afectado, dirigirse rápidamente hacia el tubo «sano» e, inversamente, también brindarán una vía de acceso a los servicios de emergencia desde el tubo sano. □

LA SÉCURITÉ D'UNE LIGNE FERROVIAIRE, UN OBJECTIF PRIMORDIAL

AUTEURS : MICHEL COUSIN, RESPONSABLE FDMS - JEAN-CLAUDE MUTTEL, DIRECTEUR DU PROJET PERPIGNAN-FIGUERAS, EIFFAGE TP

PARCE QUE LE SYSTÈME DE SÉCURITÉ PARFAIT N'EXISTE PAS, DES MÉTHODES / OUTILS PERMETTENT D'ACCROÎTRE LE NIVEAU DE SÉCURITÉ D'UNE INSTALLATION.



1 - Centre de contrôle de sécurité.
 1 - Safety control centre.

La question de la sécurité se pose inévitablement dans un secteur comme une Ligne à Grande Vitesse, que ce soit pour des équipements ferroviaires (signalisation, télécommunications fixes ou mobiles) ou non ferroviaires (sous-système du tunnel du Perthus tels que ventilation, détection incendie, extinction incendie...).

POLITIQUE DE PRÉVENTION ET DE PROTECTION

Les systèmes de sécurité ont pour objectif soit de réduire le risque d'occurrence des défaillances dangereuses du matériel (prévention), soit d'atténuer les conséquences (protection).

La norme EN 50126 aide à structurer une politique de prévention et de protection. « Chaque risque est le produit d'une gravité par une fréquence d'occurrence.

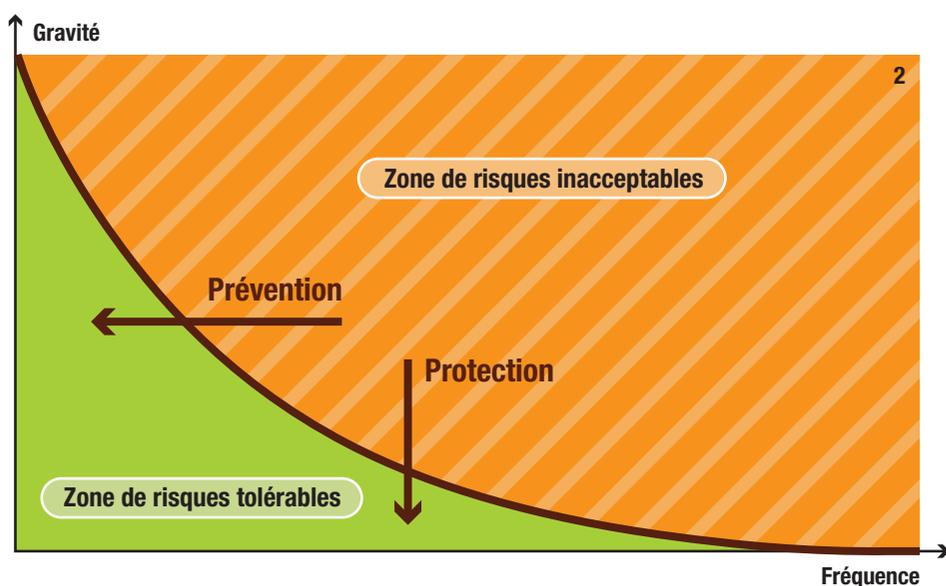
« **LE MANAGEMENT DES RISQUES PERMET DE SATISFAIRE LE SERVICE DEMANDÉ TOUT EN GARANTISSANT LA PROTECTION DE L'ÉQUIPEMENT, DES PERSONNES, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES BIENS** »

Pour le réduire, on cherchera à diminuer la probabilité qu'il survienne (c'est la fonction des systèmes de prévention) et à en atténuer les conséquences (en améliorant la protection) » (figure 2). Les systèmes de sécurité couvrent des systèmes variés tels que le génie civil (ouvrages d'art, plateformes), la voie, la signalisation... Certains comportent une proportion grandissante d'équipements électriques ou électroniques. Ils sont complexes, ce qui rend difficile la détermination de chaque mode de défaillance par l'examen de tous les comportements possibles et la prévision de leurs performances en termes de sécurité.

Parallèlement à ce constat, la responsabilité attribuée au Concessionnaire ou Gestionnaire d'infrastructure vis-à-vis de ses obligations contractuelles, les

exigences environnementales de plus en plus fortes, le coût toujours plus important d'un arrêt d'exploitation (taux de régularité) accentuent la nécessité pour le Concessionnaire de définir des exigences de sécurité de plus en plus draconiennes. C'est pourquoi, la conception et la mise en œuvre d'un système de sécurité doivent aujourd'hui satisfaire un niveau d'exigence non seulement en termes de sécurité mais aussi en termes de disponibilité.

Pour répondre à ce nouvel état de fait, les normes / lois / décrets relatifs à la sécurité, d'application contractuelle, proposent des méthodes de management des risques dès la conception, et ce jusqu'aux essais dynamiques, en passant par les phases d'exécution, de fabrication, d'installation et essais d'intégration.



QU'EST CE QUE LA SÉCURITÉ ?

La sécurité globale, c'est l'absence de risques inacceptables qui pourraient engendrer des blessures physiques, atteindre la santé des personnes directement ou indirectement, dégrader l'environnement ou altérer les biens.

Le terme relatif à la sécurité est employé pour décrire les systèmes qui sont prescrits pour réaliser une fonction ou des fonctions spécifiques pour s'assurer que les risques sont maintenus à un niveau acceptable. De telles fonctions dont la défaillance peut entraîner un accroissement immédiat du ou des risques sont, par définition, des fonctions de sécurité.

La sécurité fonctionnelle est une partie de la sécurité au sens général.

Par exemple, la mise en place de capteur surveillant le tassement des fondations d'un viaduc dans une zone géologique « sensible » et conduisant à l'arrêt de l'exploitation en cas de dépassement du seuil de surveillance est un exemple de sécurité fonctionnelle. Par contre, la prise en compte de coefficient de sécurité plus important dans le dimensionnement des fondations et/ou piles n'est pas un exemple de sécurité fonctionnelle même s'ils sont du ressort de la sécurité et peuvent protéger contre le même danger (tassement / effondrement du viaduc).

APPROCHE NORMATIVE ET EXIGENCES DE SÉCURITÉ

Les normes, et en particulier la norme EN 50 126, utilise une approche basée sur le risque encouru afin de déterminer les prescriptions nécessaires concernant les fonctions de sécurité.

Cette approche décrit un modèle de cycle de vie de sécurité global servant de cadre aux activités qui sont

nécessaires pour garantir le niveau de sécurité, c'est-à-dire pour spécifier les exigences FDMS (Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité) et pour démontrer que ces exigences sont satisfaites.

Elle couvre toutes les activités du cycle de vie de sécurité depuis la conception initiale, en passant par l'analyse des dangers et l'évaluation du risque, la détermination des prescriptions concernant la sécurité, la conception, la fabrication, l'installations, les essais, l'exploitation, la maintenance, les modifications, jusqu'à la mise en service et la dépose.

Enfin, elle spécifie les techniques et les mesures qui sont nécessaires pour apporter la justification du niveau de sécurité globale.

Une méthode de management des risques dès la conception, s'appuie sur des notions comme le niveau d'intégrité de sécurité (SIL : Safety Integrity Level). La norme EN 50126 définit 4 niveaux de performance de sécurité pour une fonction de sécurité. Le niveau 1 d'intégrité de sécurité (SIL1) est le niveau le plus bas tandis que le niveau 4 (SIL4) est le niveau le plus élevé. Deux types de prescriptions sont nécessaires pour réaliser la sécurité :

→ Les prescriptions concernant la fonction de sécurité (ce que réalise la fonction).

→ Les prescriptions concernant l'intégrité de sécurité (la probabilité pour qu'une fonction de sécurité soit réalisée d'une manière satisfaisante).

Le niveau de SIL englobe les aspects aléatoires (ex : défaillance des composants) et les aspects systématiques (ex : erreurs de conception). Elle comporte à la fois des prescriptions pour empêcher les défaillances (évitant l'introduction

2- Politique de prévention et de protection.

2- Prevention and protection policy.

« LE DÉFI EST DONC DE CONCEVOIR LE SYSTÈME DE FAÇON À EMPÊCHER LES DÉFAILLANCES DANGEREUSES OU DE LES MAÎTRISER QUAND ELLES SURVIENNENT »

de pannes) et les prescriptions pour le contrôle des défaillances (assurant la sécurité même lorsque les pannes sont présentes).

OBJECTIF PREMIER : LA SÉCURITÉ TOTALEMENT GARANTIE

L'objectif de sécurité primordial est que la sécurité de la LGV Perpignan - Figueras (transport ferroviaire voyageurs et fret) doit être totalement garantie. Afin de satisfaire à cet objectif, le Concessionnaire s'est engagé à construire, exploiter et à maintenir pendant la durée de la concession, la Section internationale en tenant compte des prescriptions les plus récentes en matière de qualité et de sécurité.

La manière privilégiée pour atteindre l'objectif général de sécurité est basée sur le principe GAME (Globalement Au Moins Equivalent).

La possession du système de référence choisi est indispensable pour le développement et l'évaluation du processus de sécurité.

Une première analyse a montré qu'il n'y avait pas de ligne de référence à 100 % identique à la Section internationale Perpignan - Figueras.

Lors de l'élaboration du Dossier préliminaire de sécurité, le système de référence proposé était la LGV-LN5 (TGV Méditerranée de Valence à Marseille et à Nîmes, mise en service en Juin 2001).

Cette ligne était la dernière ligne mise en service en France et correspondait à un référentiel pré-STI (Spécifications techniques d'interopérabilité).

Le système de référence choisi ne pouvant pas couvrir toutes les caractéristiques de la Section internationale, les écarts (paramètres du tracé, ERTMS N1 & N2, mixité du trafic, tunnel du Perthus, aspects environnementaux liés à la zone géographique de la concession et interfaces avec les infrastructures encadrantes, ...) ont dû être exhaustivement identifiés et justifiés.

SÉCURITÉ ET ANALYSE DES RISQUES

Les différents écarts par rapport au référentiel choisi ont été identifiés et décrits dans les dossiers préliminaires de sécurité (DPS) relatifs à la ligne et au tunnel du Perthus. Chaque DPS démontre à partir de l'Analyse préliminaire des risques tendant vers l'exhaustivité et résultant des options de conception des divers éléments constitutifs du système de transport, que les dispositions fonctionnelles, techniques, ▷

d'exploitation et de maintenance prévues pour le projet, ainsi que le programme prévu d'essais et de tests, permettront d'atteindre l'objectif de sécurité fixé et ce, tout au long de la durée de vie du système.

Étant donné le caractère préliminaire (par définition) de la discussion relative aux écarts identifiés, ces derniers ne pouvaient être validés que dans les dossiers définitifs de sécurité et sont supportés, si nécessaire, par des études FDMS qui prennent en compte les

écarts éventuels entre le référentiel le plus proche et la solution projetée.

ÉTUDES FDMS ET DOSSIERS DE SÉCURITÉ

Le référentiel existant sur le réseau ferré français ou espagnol nous a permis d'utiliser la méthode GAME pour certains sous-système : signalisation, détecteurs vents latéraux, CTC (Control traffic center), détecteurs boîtes chaudes, ...

L'absence de référentiel pour le tunnel

LES DÉFAILLANCES DANGEREUSES

Elles peuvent provenir des :

- Spécifications incorrectes du système, du matériel ou du logiciel,
- Omissions dans les spécifications des prescriptions concernant la sécurité,
- Mécanismes de défaillance aléatoire du matériel,
- Mécanismes de défaillance systématique du matériel,
- Erreurs de logiciel,
- Erreurs humaines,
- Influences environnementales (vent, séisme, pluie...),
- Etc.

FDMS (FIABILITÉ, DISPONIBILITÉ, MAINTENABILITÉ ET SÉCURITÉ)

D'une manière générale, pour la Ligne à Grande Vitesse Perpignan - Figueras, les études FDMS ont consisté à :

- Vérifier le caractère GAME (Globalement au Moins Equivalent) de certaines fonctions / sous-systèmes,
- Élaborer le Dossier de Sécurité d'un sous-système / fonction en l'absence de référentiel GAME, c'est-à-dire réaliser toutes les études pour chaque phase du cycle de vie, et ce en conformité avec le niveau de sécurité prescrit (niveau de SIL) (ex : fonction de Détection Incendie du Tunnel),
- Optimiser des architectures et des modes de fonctionnement de sous-systèmes pour lesquels le niveau de sécurité est faible (SILO) mais dont un haut niveau de disponibilité est requis (électrification, télécommunication mobile, alimentation auxiliaires des bâtiments techniques) en évaluant essentiellement l'apport de redondances de matériels ou de fonctionnalités.

« LES DOSSIERS DE SÉCURITÉ SONT LA JUSTIFICATION DE L'ACCESSION AU NIVEAU DE SÉCURITÉ RECHERCHÉ POUR LA LIGNE ET POUR LE TUNNEL DU PERTHUS »

du Perthus a conduit le constructeur à réaliser la totalité des études FDMS pour construire le Dossier de sécurité du tunnel.

Un accident dans un tunnel étant ressenti de manière similaire au crash d'un avion, la sécurité dans le tunnel est primordiale. Surtout après les accidents du Mont-Blanc ou du tunnel sous la Manche, les interrogations sont si importantes que le niveau de sécurité du tunnel du Perthus a constitué la priorité absolue pour les concepteurs de l'ouvrage.

Les Dossiers de sécurité finaux se construisent sur la base des Dossiers préliminaires de sécurité, en démontrant que la conception du système et sa réalisation concrète, y compris au cours des phases d'installation et d'essais satisfont aux exigences de sécurité spécifiées, mais également que la mise en œuvre du système est conforme aux exigences de sécurité.

Les Dossiers de sécurité (DS) sont de la responsabilité du Concessionnaire (TP Ferro) qui doit les présenter à la Commission inter-gouvernementale (CIG) au plus tard 6 mois avant la mise en service.

Les DS sont réalisés avant la mise en service (pour l'autorisation d'exploiter) et doivent être accompagnés du rapport d'évaluation de l'expert indépendant (ISA).

L'autorisation de mise en service est délivrée par la CIG au vu des Dossiers de sécurité, du rapport d'évaluation de l'expert indépendant, du Règlement de sécurité d'exploitation (et de maintenance) et du Plan d'intervention et de sécurité (PIS).

Ces dossiers doivent donc fournir la preuve de la mise en œuvre de toutes les mesures de prévention spécifiées dans les analyses des risques, la levée de toutes les réserves et les restrictions acceptables. □

ABSTRACT

THE SAFETY OF A RAILWAY LINE, AN ESSENTIAL OBJECTIVE

MICHEL COUSIN, EIFFAGE TP - JEAN-CLAUDE MUTTEL, EIFFAGE TP

Because a perfect safety system does not exist, methods/tools are used to increase the safety level of an installation. □

LA SEGURIDAD DE UNA LÍNEA FERROVIARIA, UN OBJETIVO PRIMORDIAL

MICHEL COUSIN, EIFFAGE TP - JEAN-CLAUDE MUTTEL, EIFFAGE TP

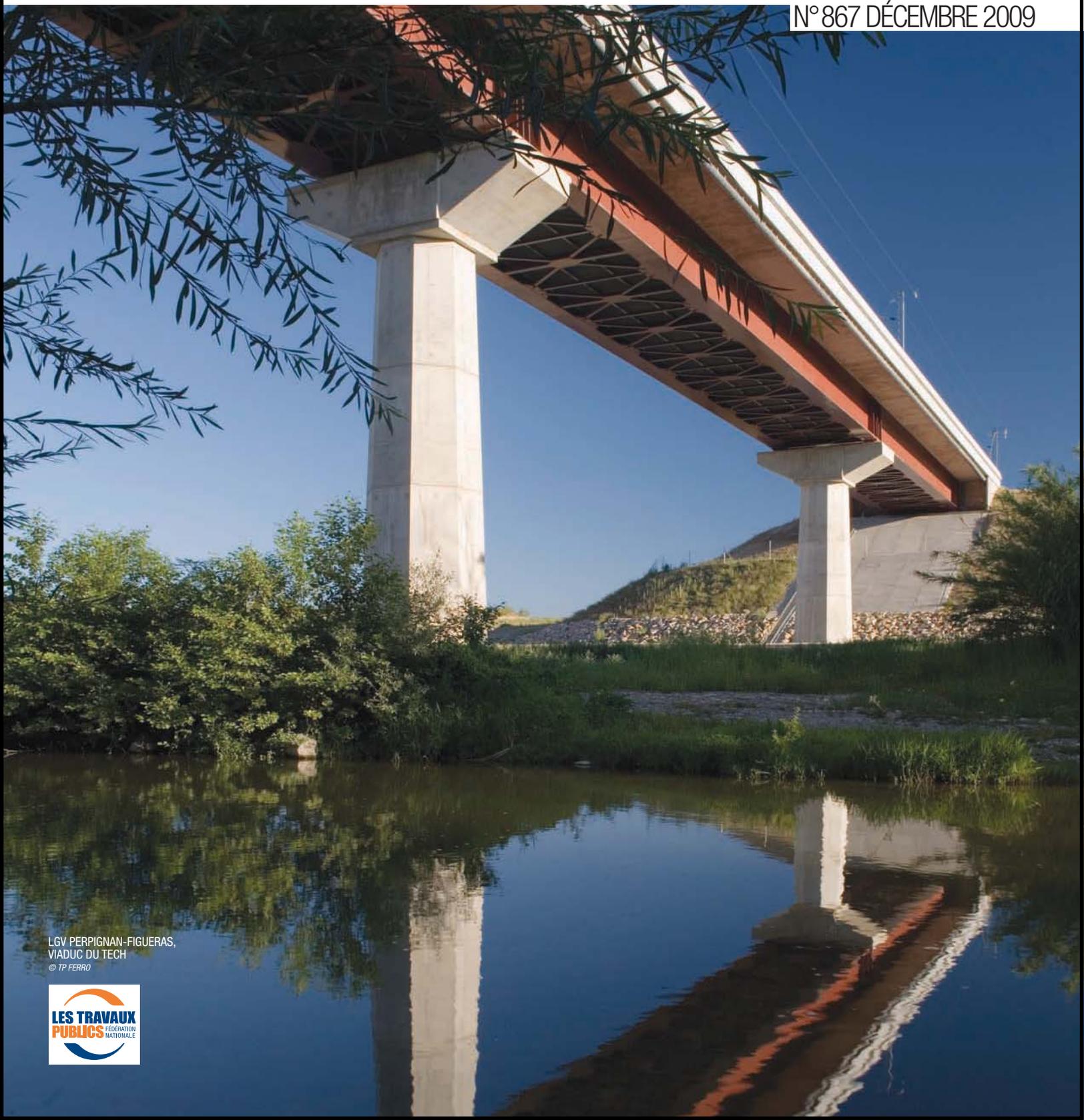
Debido a que no existe un sistema de seguridad perfecto, diversos métodos y herramientas permiten incrementar el nivel de seguridad de una instalación. □

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

LGV PERPIGNAN-FIGUERAS. L'AXE FERROVIAIRE A GRANDE VITESSE DU SUD-OUEST DE L'EUROPE. LA CONCEPTION DE LA LIGNE. CONCERTATION ET MAITRISE DES EMPRISES FONCIERES. LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT. LES OUVRAGES D'ART. TUNNEL DU PERTHUS. LE BETON DE VOIE DU TUNNEL. L'INSTALLATION DES VOIES FERREES. L'ELECTRIFICATION. LA SIGNALISATION. LES EQUIPEMENTS DU TUNNEL. LA SECURITE

N° 867 DÉCEMBRE 2009



LGV PERPIGNAN-FIGUERAS,
VIADUC DU TECH
© TP FERRO

