

Travaux

n° 811

- RFF, maître d'ouvrage des investissements ferroviaires
- LGV Est européenne : du mythe à la réalité
- L'environnement intégré, un gage de réussite du projet
- Le lot 13 : de la vallée de l'Ourcq à Château-Thierry
- Le viaduc de l'Ourcq
- Le passage sous A4 à Janvry
- Tronçon C. Les ouvrages de génie civil du lot 23B
- Le lot 24 : de la Champagne humide au plateau calcaire du Barrois
- Le viaduc de Jaulny
- De la vallée de la Meuse à la vallée de la Moselle
- Lot 34B : raccordement de la LGV Est à la ligne ferroviaire vers Strasbourg
- De la gare de l'Est à Vaires-sur-Marne : adapter les installations terminales au TGV Est européen
- Focus sur le lot 10 à l'origine de la LGV, dans le triangle des batraciens

LGV Est européenne

Sommaire

Travaux
numéro 811

septembre 2004

LGV Est européenne



Notre couverture

LGV Est européenne.
Travaux en cours

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 83
thonierh@fntp.fr

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 02 41 18 11 41
Fax : (33) 02 41 18 11 51
francoise.godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon
10, rue Clément Marot - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 40 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 170 € TTC
Etranger (11 numéros) : 210 €
Etudiants (11 numéros) : 60 €
Prix du numéro : 20 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
Martin Fabre
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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 by Travaux).
Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

techniques
et matériaux

15

matériels

16

PRÉFACE

Jean-Pierre Dupont

21

◆ Avant-propos. Réseau ferré de France, maître d'ouvrage des investissements ferroviaires
- *Foreword. Réseau ferré de France, contracting authority for capital expenditure on railways*

J.-A. Schneck

22

◆ La LGV Est européenne : du mythe à la réalité
- *The East European High-Speed Train Line : from dream to reality*

P. Trannoy, A. Cuccaroni

24

◆ L'environnement intégré, un gage de réussite du projet
- *Environmental planning, a guarantee of success for the project*

S. Rabaseda

36

◆ Le lot 13 : de la vallée de l'Ourcq à Château-Thierry
- *Work section 13 : from the Ourcq Valley to Château-Thierry*

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun, R. Dunand

46

◆ Le viaduc de l'Ourcq : une nouvelle contractualisation pour le lot 19
- *The Ourcq viaduct : a new form of contract for work section 19*

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun, Fr. Turbelin

56

◆ Le passage sous A4 à Janvry dans la Marne
- *The A4 underpass at Janvry in the Marne region*

D. Jouveaux, P. Mathern, B. Cantenot, Ph. Henriot

61

◆ LGV Est européenne - Tronçon C. Les ouvrages de génie civil du lot 23B
- *East European High-Speed Train Line - Section C. The civil engineering structures for work section 23B*

D. Friot, S. Gilson, E. Waffelaert

67



Sommaire

septembre 2004

LGV Est européenne

Dans les prochains numéros

- Routes -
- Travaux urbains
- Réhabilitation d'ouvrages
- Ponts
- International
- Environnement
- Travaux souterrains
- Sols et fondations
- Terrassements



◆ Le lot 24 : de la Champagne humide au plateau calcaire du Barrois
- *Work section 24 : from the wet Champagne Region to the Barrois calcareous plateau*
D. Chazelle, A. Delhomel, N. Lafuente, R. Laville

75



◆ Le viaduc de Jaulny, au cœur du Parc naturel régional de Lorraine
- *The Jaulny viaduct, in the heart of the Lorraine regional natural park*
P. Charlon, Fr. Cuffel

84



◆ De la vallée de la Meuse à la vallée de la Moselle
- *From the Meuse Valley to the Moselle Valley*
G. Latroy

91



◆ Lot 34B : raccordement de la LGV Est à la ligne ferroviaire vers Strasbourg
- *Work section 34B : linking of the eastern High-Speed Train Line to the railway line toward Strasbourg*
J.-Cl. Mathieu, L. Hoffmann, L. Flouest, V. Poje

100



◆ De la gare de l'Est à Vaires-sur-Marne : adapter les installations terminales au TGV Est européen
- *From "Gare de l'Est" station in Paris to Vaires-sur-Marne : adapting terminal facilities for the East European High-Speed Train*
St. Coïc

107



◆ Focus sur le lot 10 à l'origine de la LGV, dans le triangle des batraciens
- *Focus on work section 10 at the source of the High-Speed Train Line, in the batrachian triangle*
Th. Meysembourg, J.-L. Del Tin

114

ABONNEMENT TRAVAUX

répertoire des fournisseurs

131

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

| | | | |
|----------------------------|--------|----------------------------|------------------|
| ARCELOR RPS..... | 8 ET 9 | EUROFILTRATOR..... | 14 |
| BAUDIN CHATEAUNEUF | 19 | GUINTOLI | 10 |
| BOTTE FONDATIONS..... | 16 | ICE | 18 |
| CIMBÉTON | 2 | PACKAGE ORGANISATION | 119 |
| CNETP | 90 | PRO BTP | 2È DE COUVERTURE |
| COLBOND GEOSYNTHETICS..... | 17 | SADE | 44 |
| DEMATHIEU & BARD | 11 | SOTRES | 44 |
| EIFFAGE CONSTRUCTION..... | 4 | TOTAL | 4È DE COUVERTURE |
| ENTE FIERA DI VERONA | 7 | VIGANO PAVITEX | 13 |

La LGV Est européenne : en ligne avec le futur

Dès 2007, la LGV Est européenne, première ligne ferroviaire exploitée à 320 km/h, apportera aux régions et aux cités de l'Est de la France l'atout majeur que constitue la grande vitesse pour le bien-être et la prospérité de leurs populations et la vitalité de leurs économies. Enfin! – diront-elles. Attendue depuis plus de vingt ans, une première phase de cette ligne nouvelle, de 300 kilomètres entre l'Est parisien et Baudrecourt, est aujourd'hui en construction sous la maîtrise d'ouvrage directe de Réseau ferré de France.

Etablissement public de l'Etat créé en 1997, Réseau ferré de France est propriétaire de l'infrastructure ferroviaire du pays, chargé de contribuer au développement de ce mode de transport. Depuis 2003, RFF est un gestionnaire d'infrastructure à part entière, avec la compétence qui lui a été donnée de gérer et d'allouer les capacités sur le réseau.

Cette nouvelle organisation est la traduction donnée par la France de la volonté d'intégration et d'ouverture des réseaux européens de transport, dans une perspective de développement durable fondée sur un rôle accru du chemin de fer. Cette réforme est aussi un exercice salutaire de clarification financière : la SNCF, qui ne porte plus le poids de la dette du passé liée à l'infrastructure et la charge de l'entretien du réseau existant, mais qui verse à RFF des péages, a la possibilité d'équilibrer ses comptes d'entreprise de transport ; pour les projets nouveaux, RFF ne peut pas investir plus que les recettes nettes futures qu'ils dégagent. Telle est la nouvelle règle du jeu pour le financement de ces projets.

La LGV Est européenne est une illustration de ces enjeux.

Outil d'aménagement du territoire, elle sera un catalyseur formidable pour la croissance d'économies régionales qui ont souffert, notamment en Lorraine, de la restructuration drastique de pans entiers de leur industrie. Vecteur de la décentralisation en marche, elle offrira des liaisons directes province-province avec le Nord, l'Ouest et le Sud-Ouest. Strasbourg, à 2 h 20 de Paris, verra son statut de capitale européenne conforté.

Alors que l'Europe, aujourd'hui à vingt-cinq, vient de repousser ses frontières vers l'Est, cette ligne nouvelle a, plus encore que la LGV Nord, une vocation européenne évidente, par le renforcement des

liens qu'elle permet avec l'Allemagne, le Luxembourg, et aussi la Suisse ; elle est la partie française d'un grand corridor ferroviaire en devenir, la "Magistrale pour l'Europe" entre Paris et Budapest, qui concerne près de 10 % de la population européenne. Avec la future LGV Rhin-Rhône, elle fait de Strasbourg un nœud important du réseau à grande vitesse européen.

Si son utilité sociale et économique ne fait pas de doute – et la déclaration d'utilité publique de 1996 qui vient d'être prorogée très récemment, le démontre –, l'équation financière de ce projet était difficile à résoudre. Le juste équilibre des comptes pour le gestionnaire d'infrastructure RFF et le transporteur SNCF imposait un apport signi-

ficatif de subventions publiques dans le plan de financement de l'investissement. Très vite, un phasage du projet est apparu inévitable. Sur la première étape en cours, l'Etat est le principal financeur avec près de 40 %, l'Europe et le Luxembourg contribuent, et tout a été rendu possible grâce à l'engagement de 17 collectivités territoriales d'Ile-de-France, de Champagne-Ardenne, de Lorraine et d'Alsace, qui pour la première fois dans un tel projet, apportent plus de 20 % du financement de l'infrastructure. Cet engagement traduit leur attente et leur volonté pour faire de ce qui chez elles devenait un mythe, une réalité. Il crée pour le maître d'ouvrage RFF une exigence supplémentaire de rigueur, de transparence et d'écoute.

Nouveau venu parmi les grands maîtres d'ouvrage publics d'infrastructures linéaires, RFF affirme sa volonté de maîtriser les coûts et les délais, et de mettre en œuvre une culture du dialogue aussi bien que de la qualité, technique et envi-

ronnementale. Il mobilise tout le savoir-faire des bureaux d'études et des entreprises, pour réussir ce projet et trouver une harmonie entre les contraintes de la grande vitesse et des paysages remarquables comme ceux des parcs naturels régionaux de la Montagne de Reims et de Lorraine.

Je me réjouis de voir la cicatrice des travaux s'effacer progressivement, et les premiers ouvrages achevés aux talus reverdis, se fondre dans la nature.

Je rends ici hommage aux milliers d'hommes et de femmes qui travaillent à cette grande œuvre, et leur adresse mes encouragements pour la bonne fin de ce très grand chantier.



■ JEAN-PIERRE
DUPOINT

Président
de Réseau ferré
de France

Avant-propos

Réseau ferré de France, maître ferroviaires



Chargé notamment du développement du réseau ferroviaire, Réseau ferré de France mène de front de multiples projets, inscrits aux contrats de plan entre l'Etat et les Régions, ou de création de lignes nouvelles. RFF est ainsi le nouveau "maître d'ouvrage" des lignes à grande vitesse qui sont ou seront construites dans les années qui viennent, selon le programme ambitieux arrêté par le CIADT du 18 décembre 2003.

Aujourd'hui, nous réalisons la "LGV" Est européenne. Le chantier de génie civil a pris toute son ampleur sur les 300 km de la première phase de la ligne nouvelle, et plus personne ne peut ignorer l'extraordinaire mobilisation de moyens qu'elle suscite. Cette LGV est une première en France à deux titres : c'est la première fois que les collectivités participent de manière significative au financement, et c'est la première fois qu'existe une séparation voulue et assumée entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre.

Pour gérer ce grand projet et rendre compte à ses financeurs, Réseau ferré de France a ainsi mis en place au sein de ses services une équipe dédiée, basée à Paris, d'une cinquantaine de personnes avec des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage externes, croisant des compétences opérationnelles et des expertises-métiers. Cette équipe assure la maîtrise d'ouvrage du projet, avec le

pilotage et la coordination des intervenants nombreux sur un projet de cette complexité.

La maîtrise d'œuvre du génie civil de la ligne a fait l'objet d'un appel d'offres européen qui a permis de sélectionner différents bureaux d'études spécialistes de ce type d'infrastructures linéaires. L'ingénierie de la SNCF est maître d'œuvre des équipements ferroviaires.

RFF attend de ses maîtres d'œuvre une réponse adaptée aux exigences du programme qu'il a défini : la qualité globale, y compris la prise en compte de l'environnement et la qualité de la concertation, dans le respect bien sûr du budget et des délais. A travers ce projet, et ceux aujourd'hui en étude, RFF a la volonté de développer une maîtrise d'ouvrage moderne, efficace et innovante.

Il a notamment l'objectif de trouver avec les entreprises des modes de contractualisation qui incitent à une meilleure maîtrise des coûts à terminaison et des délais, dans un état d'esprit plus partenarial et un partage clarifié des risques. C'est ce que nous expérimentons sur la LGV Est européenne, avec, outre les formules d'intéressement déjà connues, deux marchés de conception-réalisation et trois marchés de génie civil qui intègrent une gestion des risques identifiés. Nous attendons beaucoup de ces essais en cours qui, pour réussir, supposent l'implication réelle de tous,

> Pour en savoir plus :
internet : www.lgv-est.com



d'ouvrage des investissements



© Fr. Sautereau/CAPA/RFF - 2004

maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises. Je souhaite vivement que les conclusions que nous en tirerons soient positives et j'espère qu'elles permettront de progresser ensemble.

Pour une telle infrastructure de haute technologie, l'atteinte des objectifs de qualité est évidemment essentielle. Nous avons mis en place sur ce projet une politique fondée sur l'assurance-qualité : l'entreprise, avec son auto-contrôle, garantit au maître d'ouvrage la conformité des travaux, le maître d'œuvre et des contrôles extérieurs vérifient le fonctionnement du dispositif. Les entreprises sont pour la plupart certifiées, ce qui atteste que leurs dirigeants ont compris que la qualité du premier coup peut leur faire gagner de l'argent. Il leur faut alors décliner cette politique jusqu'au bout en développant au niveau du terrain exigence, rigueur et transparence. L'expérience de la LGV Est européenne montre qu'en la matière, la profession doit poursuivre résolument ses actions de sensibilisation et de formation, en particulier pour les travaux de terrassement.

Sur un tel projet, la pression sur les coûts et les délais est forte. Elle ne saurait cependant prévaloir sur la sécurité des personnes sur les chantiers. RFF, en la matière, s'est efforcé d'être exemplaire, au-delà de ses obligations réglementaires, et reste vigilant. Un chargé de mission nous aide à

définir et coordonner notre politique en la matière et à nous assurer de son application. Des réunions régulières entre le maître d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les organismes de prévention permettent de traiter des risques généraux à l'échelle de l'opération.

Nous imposons, dans nos marchés de génie civil, un responsable sécurité à plein temps au sein de la direction de chantier de l'entreprise. Sur le risque particulier des engins de guerre, important dans les secteurs traversés, une convention a été passée avec les services du déminage du ministère de l'Intérieur pour des opérations préventives et systématiques de formation, destinées aux ouvriers, et des interventions efficaces et sûres en cas de découvertes en cours de chantier. Le risque zéro n'existe malheureusement pas pour ce type de travaux...

Au total, la construction de cette LGV Est européenne est un "laboratoire", qui ne craint pas d'innover, qu'il s'agisse des jeux des acteurs, de l'ingénierie technique, financière et contractuelle, et qui a l'ambition de montrer que même dans le ferroviaire, on peut maîtriser les coûts tout en tenant les délais et en réalisant des ouvrages de qualité.

Rendez-vous en 2007 pour savoir si le pari aura été tenu!



La LGV Est européenne :

La LGV Est européenne va révolutionner la desserte de l'Est de la France avec, pour plus de onze millions de voyageurs, des gains de temps, allant jusqu'à 1 h 30 entre Paris et les villes de Lorraine et d'Alsace.

Cette infrastructure nouvelle permettra aussi d'offrir des dessertes province-province grâce à la ligne de contournement de Paris ; elle fait de plus partie des grands projets européens avec les nouvelles connexions prévues avec les réseaux allemands, luxembourgeois et suisses, au sein d'un futur grand corridor ferroviaire allant de Paris à Budapest.

Si les travaux ont pu être enfin lancés en janvier 2002 pour une première phase de 300 km entre Vaires-sur-Marne (77) et Baudrecourt (57), c'est d'abord grâce aux contributions financières déterminantes de l'Etat et de 17 collectivités territoriales des régions traversées par la ligne nouvelle. La part en fonds propres investie par RFF, d'environ 23 %, est aussi complétée par des subventions de l'Europe et du Luxembourg.

La LGV, tracée pour 350 km/h, sera circulée à 320 km/h à la mise en service ; elle sera équipée d'ERTMS et de GSM-R, systèmes de signalisation et de radio sol-train aux normes européennes et donc interoperables.

Réseau ferré de France, maître d'ouvrage de la LGV, a mis en place une équipe dédiée, basée à Paris. La maîtrise d'œuvre du génie civil de la ligne a été confiée après appel d'offres à différents bureaux d'études.

Les travaux de génie civil sont engagés sur les 300 km de ligne, et 70 % des terrassements ont été réalisés. Les travaux d'équipements ferroviaires commenceront au second semestre 2004. L'objectif de la mise en service est fixé à mi-2007 (figure 1).



Figure 1
 Carte générale de la LGV Est européenne
General map of the East European High-Speed Train Line

■ UNE DÉJÀ LONGUE HISTOIRE...

Une ligne, trois fonctions

La desserte par trains à grande vitesse de l'Est de la France et des pays frontaliers répond à une préoccupation d'aménagement du territoire à l'échelon national et européen. Elle permettra de réduire considérablement le temps de parcours entre Paris et les principales villes de l'Est de la France, entre la France et les grandes villes du sud de l'Allemagne, la Suisse et le Grand-Duché de Luxembourg, et entre les différentes régions de l'Est, du Nord et de la façade Atlantique du pays. Elle s'articule autour de trois fonctions :

- ◆ relier Paris à l'Est de la France depuis Paris - Gare de l'Est vers les gares centres des villes desservies ;
- ◆ relier l'Est aux régions d'Ile-de-France, du Nord, de l'Ouest, et du Sud-Ouest grâce aux gares nouvelles sur la ligne et à la ligne d'interconnexion des LGV en Ile-de-France ;
- ◆ créer un réseau de liaisons internationales vers le Luxembourg, l'Allemagne, la Suisse et la Belgique. Au travers de ces fonctions, apparaissent les trois objectifs principaux fixés au projet :
- ◆ participer à l'aménagement du territoire en facilitant les échanges entre les régions de l'Est de la France et l'Ile-de-France par une réduction des temps de trajet pour l'ensemble du quart Nord-Est du pays ;
- ◆ favoriser le désenclavement en améliorant les

relations interrégionales tant entre les différentes régions de l'Est de la France qu'entre celles-ci et les autres régions par utilisation de la synergie résultant de l'existence du réseau de lignes à grande vitesse interconnectées en Ile-de-France ;

◆ contribuer à l'intégration européenne en offrant à la clientèle du voyage international un véritable réseau de trains à grande vitesse dépassant le territoire métropolitain par connexion aux lignes à grande vitesse en Allemagne ou aux lignes actuelles des autres pays frontaliers (Suisse et Luxembourg).

Les partis de dessertes et les études préliminaires

Sur la base de ces objectifs, le parti de dessertes a été précisé par le ministre chargé des Transports dans la lettre de mission adressée à Philippe Essig le 1^{er} mars 1989, suite aux premières réflexions entamées en 1985 par un groupe de travail présidé par M. Rattier, ingénieur général des Ponts et Chaussées.

Ce groupe de travail avait examiné, en concertation avec les représentants des collectivités territoriales, différents partis de dessertes. Son rapport initial de 1985 et les réflexions complémentaires qui ont suivi, concluaient à la possibilité d'établir une liaison ferroviaire rapide entre Paris et l'Allemagne via la Lorraine, avec plusieurs tracés de principe envisagés, sans toutefois tirer de conclusion autre que la faible rentabilité des options possibles.

A partir de la synthèse de ce travail préliminaire, le ministre des Transports a demandé, dans la lettre de mission de Philippe Essig, la poursuite des études sur la base des orientations suivantes :

- ◆ en Ile-de-France, la ligne nouvelle se raccordera

du mythe à la réalité

Patrick Trannyo



DIRECTEUR DE LA LGV
EST EUROPÉENNE
Réseau ferré de France

Alain Cuccaroni



DIRECTEUR ADJOINT
DE LA LGV EST
EUROPÉENNE
Réseau ferré de France

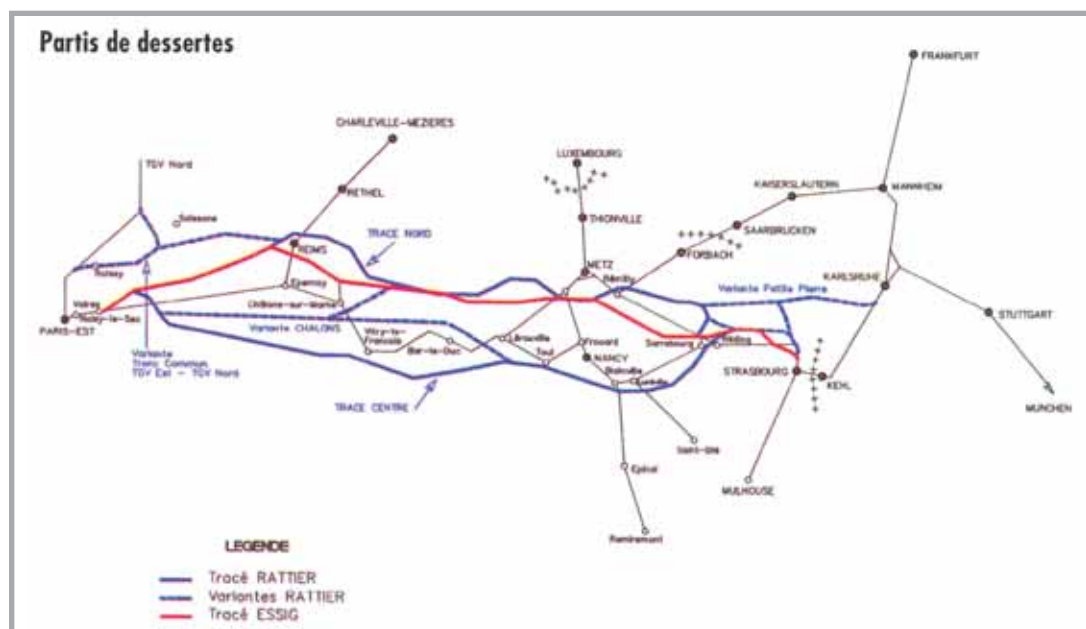


Figure 2
Les partis
de dessertes
*Schematic design
of the rail service*

à l'Interconnexion pour assurer des relations satisfaisantes avec l'aéroport Roissy Charles-de-Gaulle;

- ◆ en Champagne-Ardenne, elle desservira le triangle Reims, Epernay, Châlons-sur-Marne et permettra l'amélioration des relations avec les Ardennes;
- ◆ en Lorraine, elle assurera une desserte équitable de Metz et de Nancy, en tenant compte des liaisons à établir avec la Sarre et le Luxembourg;
- ◆ en Alsace, elle desservira Strasbourg et la possibilité d'une connexion avec le réseau allemand devra être examinée.

Philippe Essig, dans son rapport de mars 1990, a pu ainsi dégager les grandes options de dessertes et un fuseau de tracé répondant à ces orientations (figure 2).

Ce rapport, rendu public le 11 avril 1990, est devenu le cahier des charges de l'infrastructure et le ministre chargé des Transports a demandé à la SNCF en novembre 1991 d'affiner les études de tracé et de préparer le dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique dans une démarche où ont été menées en parallèle les études et la consultation des services de l'Etat, des élus, des acteurs socio-économiques et des associations. La recherche du tracé a été poursuivie en considérant les impératifs suivants :

- ◆ la prise en compte de l'environnement dans le secteur d'étude, identifiant les périmètres de contrainte forte, tant du point de vue du milieu naturel, du patrimoine que des activités humaines;
- ◆ le choix de caractéristiques géométriques de la ligne nouvelle compatibles avec la vitesse d'avenir réservée pour les circulations;
- ◆ les études des difficultés géotechniques et topographiques des régions traversées.

La prise en compte de ces contraintes, alliée au

souci d'établir une nouvelle liaison aussi directe que possible pour des raisons de coût et d'efficacité, a permis d'établir un premier tracé qui a été soumis à la consultation à partir de l'automne 1992.

Les études d'avant-projet sommaire (APS)

Conduites de l'automne 1992 à l'automne 1993, les études d'APS ont permis de mener la concertation préalable au choix définitif du tracé mis ensuite à l'enquête.

Lors de ces concertations, 391 km de variantes ont été étudiés, et 183 km ont été retenus.

A l'issue de ces études, l'Etat, par décision des 10 mars et 14 avril 1994, a décidé la mise à l'enquête publique du projet et du tracé retenu.

La procédure d'utilité publique (DUP)

Le tracé soumis à l'enquête publique a pris en compte le passage au sud de l'autoroute A4 dans l'Aisne, décidé par l'Etat à l'issue de la phase APS, et la création d'un raccordement de Réding qui rend possible un phasage avec un tronçon de ligne traversant les Vosges.

Après l'enquête publique qui a eu lieu du 16 septembre au 16 novembre 1994, le projet a été déclaré d'utilité publique en mai 1996.

La validité de cette DUP a été prorogée jusqu'en 2016 par décret paru au Journal Officiel le 7 mai 2004.

Deux procédures d'utilité publique complémentaires ont ensuite été menées :

- ◆ la première, pour le raccordement à Baudrecourt de la LGV à la ligne Metz-Réding pour mettre en

Figure 3
Carte des principaux
grands projets ferroviaires
Map of the major rail
projects



LE PLAN DE FINANCEMENT
DE LA PREMIÈRE ÉTAPE
DU PROJET

(en millions d'euros HT
valeur juin 1997)

| | |
|--|-----------------|
| • Etat : | 1 219,59 |
| • Union européenne : | 320,14 |
| • Grand-Duché de Luxembourg : | 117,39 |
| • Région Ile-de-France : | 76,22 |
| • Région Champagne-Ardenne : | 42,08 |
| • Département de la Marne : | 24,85 |
| • Département des Ardennes : | 7,62 |
| • Ville de Reims : | 45,73 |
| • Communauté d'agglomération de Reims : | 3,96 |
| • Région Lorraine : | 203,06 |
| • Département de la Meuse : | 4,12 |
| • Département de la Meurthe-et-Moselle : | 15,70 |
| • Département de la Moselle : | 22,41 |
| • Département des Vosges : | 8,54 |
| • Région Alsace : | 141,02 |
| • Département du Bas-Rhin : | 70,58 |
| • Département du Haut-Rhin : | 24,39 |
| • Communauté urbaine de Strasbourg : | 35,37 |
| • Ville de Mulhouse : | 7,01 |
| • Ville de Colmar : | 3,66 |
| • SNCF : | 48,94 |
| • RFF : | 682,82 |
| Total : | 3 125,20 |

œuvre le phasage décidé par l'Etat le 29 janvier 1999, et assurer la circulation des TGV jusqu'à Strasbourg ;

◆ la seconde, pour fixer le tracé dans la zone de Belles-Forêts en Moselle : l'engagement avait été pris, lors de la procédure initiale, de soumettre à enquête publique une variante pour une meilleure insertion du projet.

Ces deux procédures ont été conclues respectivement le 29 avril 2002 et le 6 septembre 2002.

La recherche du financement et le choix d'un phasage

De mars 1996 au 29 janvier 1999, la recherche du financement et de la consistance d'une première phase de réalisation a fait l'objet de nombreuses études et expertises, celle notamment du Conseil général des Ponts et Chaussées et de l'Inspection générale des Finances, confiée à MM. Brossier et Blanc en 1996, et celle du Conseil général des Ponts et Chaussées, confiée à M. de Fenoyl en 1998.

L'Etat a finalement décidé la réalisation d'une première étape comprenant la ligne nouvelle sur 300 km entre Vaires-sur-Marne et Baudrecourt, les études détaillées sur la totalité du projet, les acquisitions

en Alsace et la modernisation de la ligne Strasbourg-Kehl pour améliorer la connexion avec l'Allemagne, pour un montant de 3125 millions d'euros hors taxes, valeur juin 1997. Ce montant ne porte que sur les installations fixes ; le matériel roulant est financé par ailleurs par la SNCF sur ses fonds propres.

Le 29 janvier 1999, un protocole de financement a été signé sur ces bases, associant l'Etat, l'Union européenne au titre des réseaux transeuropéens, le Grand-Duché de Luxembourg, et dix-sept collectivités territoriales : les Conseils régionaux d'Ile-de-France, de Champagne-Ardenne, de Lorraine, d'Alsace ; les Conseils généraux de la Marne, des Ardennes, de Moselle, de Meurthe-et-Moselle, de la Meuse, des Vosges, du Bas-Rhin, du Haut-Rhin ; la Ville de Reims, la Communauté d'agglomération de Reims, la Communauté urbaine de Strasbourg, la Ville de Colmar, la Ville de Mulhouse.

La convention générale de financement déclinant ce protocole avec l'Etat et les collectivités a été signée le 7 novembre 2000, et l'accord avec le Grand-Duché de Luxembourg signé le 28 janvier 2002, est entré en vigueur le 1^{er} mai 2004 après sa ratification par les Parlements des deux Etats (cf. encadré "Le plan de financement de la première étape du projet").

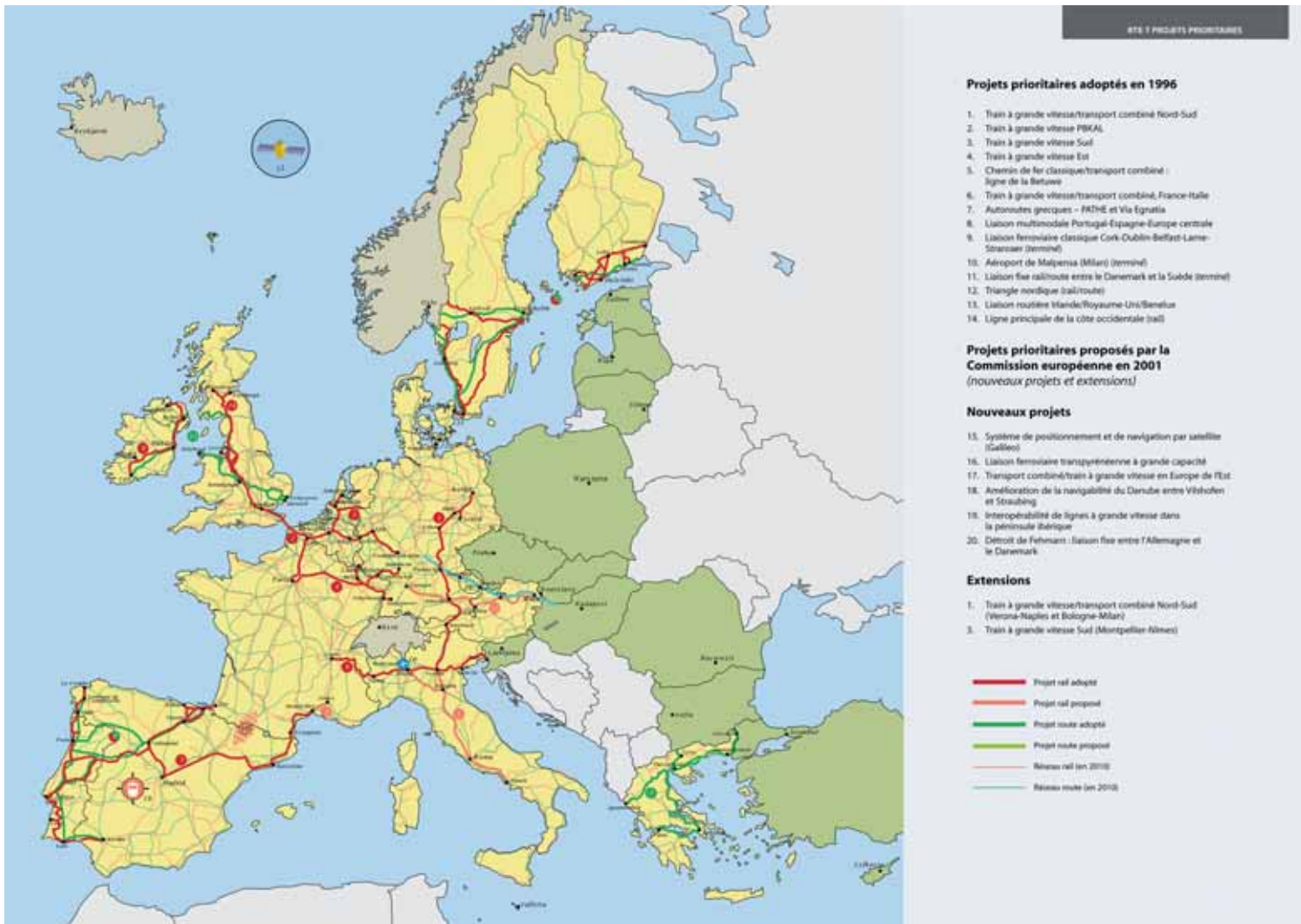


Figure 4
RTE-T - Projets prioritaires
TEN-T - Priority projects

Un projet aux dimensions nationale et internationale affirmées

Le projet de desserte par trains à grande vitesse de l'Est de la France et des pays frontaliers est repris au schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande vitesse approuvé par décret du 1^{er} avril 1992.

Son intérêt national a été réaffirmé lors du CIADT du 18 décembre 2003 consacré aux grands projets d'infrastructures, qui a annoncé le lancement des travaux de la seconde étape, entre Baudrecourt et Vendenheim, à partir de 2010 (figure 3).

C'est aussi à l'échelle européenne que ce projet prend toute sa valeur, comme partie intégrante d'un axe ouest-est reliant l'Île-de-France et Paris, la Champagne-Ardenne, la Lorraine, l'Alsace et, au-delà des frontières, l'Allemagne et la vallée sud du Danube, la Suisse, et le Luxembourg.

Cette vocation européenne a été affirmée à plusieurs reprises :

- ◆ par l'Union européenne, qui a retenu le projet dans le schéma directeur du réseau européen à grande vitesse dès le Conseil des ministres des 14 et 15 décembre 1990. Le projet figure également dans la liste des projets prioritaires des réseaux transeuropéens de transport décidée lors du sommet d'Essen de 1994 (figure 4). Les discussions récentes au niveau communautaire confirment le caractère prioritaire de cette liaison ;
- ◆ par l'accord franco-allemand de La Rochelle du

22 mai 1992 : l'interconnexion entre les réseaux français et allemand fait l'objet d'attentions particulières soutenues des deux gouvernements et des régions limitrophes ;

- ◆ par le protocole d'accord franco-luxembourgeois du 17 septembre 1992, véritable préalable à l'accord de financement concrétisé en janvier 2002 entre les deux pays qui marquent ainsi l'importance qu'ils attachent au statut de capitales européennes de Strasbourg et Luxembourg ;

- ◆ par l'Initiative "Magistrale für Europa" présidée par le maire de Karlsruhe, qui soutient l'aménagement d'un vaste corridor ferroviaire de Paris à Budapest, dont la LGV Est européenne est le maillon français.

L'engagement des collectivités

L'histoire du projet est fortement marquée par le rôle majeur joué par les collectivités territoriales de l'Est de la France dans les études et le financement du projet.

Dès les études préliminaires, elles furent partie prenante dans les choix des grandes options de desserte et de tracé : la desserte de Reims, l'égalité de temps de parcours vers Metz et Nancy, la desserte de Strasbourg et de la plaine d'Alsace et les connexions vers l'Allemagne, la Suisse et le Luxembourg.

Cette participation active s'est affirmée tout au long des études et des concertations, dans la mise au point du projet technique, du tracé et de son insertion environnementale. Elle s'est concrétisée



Figure 5
Exemples de temps de parcours
Examples of travelling times



par la signature de la convention de financement du 7 novembre 2000, qui constitue une première. Le principe du financement des collectivités s'était imposé dès les travaux de Philippe Essig qui proposait dans son rapport une participation de 3,5 milliards de francs sur 26.

Les réflexions sur le financement des infrastructures ont fait évoluer ce niveau de participation dans le sens d'une plus grande implication des collectivités.

Depuis les études d'APS, un comité de suivi du projet réunit régulièrement les partenaires financiers du projet pour faire le point sur l'avancement et les difficultés rencontrées, sur la base de rapports présentés par les maîtres d'ouvrage RFF et SNCF.

Les modifications du paysage ferroviaire français

Les premières études de ce projet ont été menées par la SNCF jusqu'à la déclaration d'utilité publique. A sa création en 1997, RFF a été chargé par l'Etat de contribuer au développement du réseau national et, à ce titre, il est devenu le maître d'ouvrage des projets de construction de LGV. Cette nouvelle donne institutionnelle a conduit à une partition des responsabilités sur le projet.

RFF assure depuis lors la maîtrise d'ouvrage de la construction de la ligne et des aménagements associés du réseau existant.

La SNCF, outre sa responsabilité sur les dessertes et le matériel roulant, assure la maîtrise d'ouvrage des bâtiments voyageurs des trois gares nouvelles et du nouvel atelier d'entretien du matériel roulant.

Le processus de collaboration mis en place entre les équipes des deux établissements veille à assurer la cohérence globale du projet.

■ UNE LIGNE INTEROPÉRABLE, CIRCULÉE À 320 KM/H

Les principes généraux des dessertes et les temps de parcours

Grâce aux raccordements spécifiques au réseau existant, les dessertes présentent une configuration arborescente jusqu'au centre des villes, desservies directement, et une bonne irrigation du territoire par les TGV, soit directement, soit grâce aux TER en relais. Ces dispositions permettent de diffuser l'effet de la grande vitesse et d'atteindre des gains de temps très importants.

Dès la première étape, Strasbourg sera à 2h20 de Paris, Metz et Nancy à 1h30, et plus de 11 millions de voyageurs prendront le TGV chaque année, soit une augmentation de 66 % par rapport à la situation de référence sans LGV.

A cette échéance, la totalité des effets du projet sera obtenue jusqu'en Lorraine et pour les dessertes vers Sarrebruck (figure 5).

Avec la seconde étape, un gain de temps supplémentaire de 30 minutes pourra être obtenu pour les dessertes vers Strasbourg et, au-delà, vers la Suisse et l'Allemagne du Sud.

Le tracé de la LGV, de Paris à Strasbourg

De Paris à Vaires-sur-Marne

Les trains à grande vitesse partiront de la gare de l'Est. Ils atteindront, après un parcours de 23 km sur la ligne existante aménagée, le raccordement sur la ligne nouvelle à Vaires-sur-Marne où un remaniement des installations ferroviaires est nécessaire pour insérer les voies de la LGV Est entre celles de la ligne actuelle Paris - Strasbourg.

La ligne nouvelle en Ile-de-France

A partir de Vaires-sur-Marne, le tracé s'inscrit dans une zone assez peu urbanisée entre Villevaudé, Pomponne, Claye-Souilly et Annet-sur-Marne. Afin d'assurer les échanges depuis l'Est de la France avec Roissy (aéroport Charles-de-Gaulle), Marne-la-Vallée (Disneyland Paris), Massy et les LGV Atlantique et Nord, des raccordements sont prévus avec la ligne d'interconnexion des LGV en Ile-de-France. La ligne s'infléchit ensuite au nord de Meaux et franchit la vallée de la Théroutanne, puis celle de l'Ourcq, au nord de Lizy-sur-Ourcq.

La ligne nouvelle en Picardie

Dans l'Aisne, la traversée du département s'effectue essentiellement en jumelage avec l'autoroute A4, au sud de celle-ci, qui est franchie deux fois : à Lucy-le-Bocage, en viaduc, puis à Courmont, en tranchée couverte. La ligne est installée sur le plateau au nord de Château-Thierry. Elle traverse

ensuite les forêts de Verdilly et de la Fère. Avant de quitter le département, le tracé s'éloigne de l'autoroute près de Villers-Agron-Aiguizy.

La ligne nouvelle en Champagne-Ardenne

Le tracé franchit en souterrain l'autoroute A4 et la côte de l'Île-de-France à Janvry, puis s'inscrit entre le Parc naturel régional de la Montagne de Reims et la limite sud de l'urbanisation rémoise, tout en minimisant l'impact sur le vignoble de Champagne. Au sud de Reims, la ligne sera jumelée avec le futur contournement autoroutier. Une gare nouvelle est prévue sur la commune de Bezannes. Plus à l'est, dans la plaine de la Champagne crayeuse, la ligne nouvelle franchit l'autoroute A4 en viaduc à Billy-le-Grand, puis à Bussy-le-Château, au sud des camps militaires de Mourmelon et de Suippes. Elle se dirige ensuite vers le Seuil d'Argonne, dépression naturelle dans le massif de l'Argonne.

Dans le département de la Marne, deux raccordements sont prévus :

- ◆ au sud de Reims, sur la ligne Epernay - Reims, pour desservir Reims et Charleville-Mézières ;
- ◆ dans la zone de Saint-Hilaire-au-Temple sur la ligne Reims - Châlons-sur-Marne, pour desservir Châlons-sur-Marne, Vitry-le-François et Bar-le-Duc. Enfin, au titre des contrats de plan Etat - Région, une voie de desserte TER permettant de relier la gare nouvelle de Bezannes à Reims, voire au-delà, sera réalisée. Elle se débranche du raccordement voie 1 et comporte un terminus à deux voies à quai, en gare de Bezannes.

La ligne nouvelle en Lorraine

A partir du Seuil d'Argonne, l'itinéraire est aussi direct que possible vers le point de franchissement le plus favorable de la vallée de la Moselle, au nord de Pont-à-Mousson, entre Vandières et Pagny-sur-Moselle. De ce fait, le tracé se développe à mi-chemin de Bar-le-Duc et de Verdun. A l'intersection de la Voie Sacrée, sera implantée la gare "Meuse", sur la commune de Trois-Domaines. Ensuite, le tracé franchit la vallée de la Meuse entre Bannancourt et Lacroix-sur-Meuse, et traverse le Parc naturel régional de Lorraine. Les côtes de Meuse sont franchies dans la trouée de Chaillon. La ligne nouvelle traverse la plaine de la Woëvre en évitant par le nord, la zone du lac de Madine, et par le sud, le site inscrit de Lachaussée.

A Vandières, des raccordements sont prévus vers Metz et Nancy, sur la rive gauche de la Moselle. La DUP prévoit ensuite la réalisation d'une gare sur la commune de Louvigny, à l'est de la traversée de la Moselle. Pour préserver la faisabilité d'une gare à Vandières, sur la LGV, en correspondance avec la ligne Metz-Nancy et le TER, des mesures conservatoires ont été prises en compte sur ce site.

Ensuite, le tracé retenu se dirige vers le secteur de Baudrecourt, où la ligne nouvelle se raccorde à la ligne existante de Metz à Francfort, pour des-

servir Forbach et Sarrebruck, et la ligne de Metz à Strasbourg se raccorde à la LGV, pour assurer les liaisons Luxembourg - Strasbourg à l'échéance de la seconde étape.

Un raccordement de phasage, se débranchant depuis le raccordement vers Forbach, permet, en rejoignant la ligne Metz-Réding, d'assurer la circulation des TGV vers Strasbourg pendant la durée de la première étape.

Au-delà, la ligne nouvelle prévue en seconde étape passe au sud de Morhange, puis traverse la partie orientale du Parc naturel régional de Lorraine, au sud de la clairière de Belles-Forêts, en épargnant le plus possible la forêt de Fénétrange. Un raccordement à l'est de Réding permet d'assurer les liaisons Nancy - Strasbourg.

Le tracé repasse au nord de l'autoroute A4 pour s'y jumeler à partir de Phalsbourg, dans la traversée du piémont occidental des Vosges.

La ligne nouvelle en Alsace

Le projet franchit le massif vosgien, dans sa partie la plus étroite, par un tunnel de 3,9 km, et débouche au nord de Saint-Jean-Saverne et du vallon de Winterhall, dans la plaine d'Alsace.

Le tracé recoupe l'autoroute A4 au nord de Dettwiller, franchit la vallée de la Zorn en amont de Wilwisheim et traverse les collines du Kochersberg en direction de Vendenheim, où s'effectue le raccordement à la ligne existante en direction de Strasbourg.

La faisabilité d'un prolongement ultérieur de la ligne à grande vitesse vers l'Allemagne, franchissant le Rhin au nord-est de Kilstett, est réservée au nord d'Eckwersheim.

Dans l'immédiat, la liaison dans ce secteur entre les réseaux à grande vitesse français et allemand sera assurée via la ligne classique Strasbourg - Kehl qui sera améliorée, notamment par le doublement du tablier de l'ouvrage sur le Rhin, sous maîtrise d'ouvrage allemande, et l'augmentation de la vitesse sur cette ligne.

L'aménagement des installations terminales

Outre la construction de la ligne nouvelle, le projet nécessite des aménagements sur le réseau existant, avec :

- ◆ le rehaussement des quais de la gare de Paris-Est pour les voyageurs et installations de prises d'eau pour l'alimentation en eau des rames TGV ;
- ◆ la mise à double voie du souterrain de la Villette en avant-gare de Paris-Est pour faciliter les échanges et permettre aux TGV de rejoindre les voies principales de départ depuis le plateau de voies à quai de la gare, situé côté rue du faubourg Saint-Martin ;
- ◆ l'amélioration des performances de la voie M (troisième voie de départ) pour augmenter la capacité des installations et faire face aux besoins à l'échéance TGV ;
- ◆ la mise à six voies en gare de Chelles pour les

- ▶ mêmes raisons ; cette opération nécessite la reconstruction du bâtiment voyageur de la gare de Chelles qui sera modernisé et rendu accessible aux personnes à mobilité réduite à cette occasion ;
- ◆ le relèvement de vitesse entre Le Chenay - Gagny et Vaires-sur-Marne sur les deux voies principales centrales permettant l'accélération et la décélération des TGV en entrée et sortie de la LGV sur laquelle les trains pourront entrer et sortir à 220 km/h ;
 - ◆ l'aménagement du plan de voie de la gare de Vaires-sur-Marne pour permettre la réalisation de la bifurcation d'entrée sur la LGV ; cette opération s'accompagne du remplacement et de la rénovation de certains quais et de la passerelle de franchissement des voies qui sera rendue accessible aux personnes à mobilité réduite ;
 - ◆ l'électrification des voies entre Saint-Hilaire-au-Temple et Châlons-en-Champagne pour permettre la desserte par le TGV de cette ville, de Vitry-le-François et de Bar-le-Duc ;
 - ◆ des aménagements pour les remisages de rames TGV en gares de Reims, Charleville-Mézières, Metz, Nancy ;
 - ◆ l'allongement de la voie 4 en gare de Nancy pour la réception des TGV ;
 - ◆ un relèvement de 10 km/h de la vitesse entre Thionville et la frontière luxembourgeoise ;
 - ◆ la suppression des passages à niveau n° 17 et 19 de la ligne Metz-Nancy pour permettre la réalisation des raccordements de la LGV vers Metz et Nancy ;
 - ◆ l'aménagement en gare de Strasbourg de deux quais pour la réception des TGV et la création du faisceau Saint-Hélène pour améliorer la capacité de la gare en évitant des circulations parasites, et pour rétablir les capacités de garage TER prises pour les remisages TGV ;
 - ◆ la modernisation de la ligne Strasbourg-Kehl pour améliorer la connexion avec le réseau à grande vitesse allemand à Appenweier, avec un relèvement de la vitesse aux abords du pont sur le Rhin. Cette opération est complémentaire des aménagements prévus côté allemand, avec le doublement du pont sur le Rhin, la modernisation de la gare de Kehl, le relèvement de vitesse à 200 km/h entre Kehl et Appenweier et la création d'un raccordement permettant l'entrée en vitesse vers le nord sur la ligne à grande vitesse vers Mannheim.

Les caractéristiques techniques principales de la ligne nouvelle

La LGV Est européenne sera la première ligne à grande vitesse exploitée à 320 km/h. Sa conception a été réalisée sur la base de caractéristiques géométriques légèrement supérieures, permettant de disposer d'une marge de progression ultérieure : en l'occurrence, une vitesse potentielle de

350 km/h a été prise en compte comme paramètre de base.

Les caractéristiques essentielles se traduisent par quelques chiffres clés :

- ◆ rayon en plan minimal conseillé : 7 143 m ;
- ◆ rayon en plan minimal exceptionnel : 5 556 m ;
- ◆ profil en long, rayon minimal conseillé : 25 000 m ;
- ◆ profil en long, rayon exceptionnel : 19 000 m ;
- ◆ entraxe des voies : 4,50 m ;
- ◆ pente maximale : 3,5 %.

Pour le génie civil, sur les 300 km de la première étape, les quantités globales montrent bien l'importance de l'ouvrage à réaliser :

- ◆ déblais : 49,5 millions de m³ ;
- ◆ remblais : 34,0 millions de m³ ;
- ◆ dépôts : 21,5 millions de m³ ;
- ◆ approvisionnements de matériaux de carrière : 10 millions de tonnes ;
- ◆ ouvrages d'art :

- 234 rétablissements de communications routières ou ferroviaires,
- huit sauts-de-mouton (franchissements de raccordements),
- 53 franchissements de cours d'eau,
- 24 passages faune,
- cinq tranchées couvertes, à Luzancy, Ocquerre, Courmont, Janvry et Taissy,
- 14 viaducs, avec d'est en ouest, le franchissement de l'A104, la Beuvronne, le canal de l'Ourcq, l'Ourcq, l'A4 à l'Orxois, la vallée de l'Ardre (deux ouvrages), l'A4 à Billy-le-Grand, la RN 44, l'A4 à Bussy-le-Château, la Meuse, le canal de l'Est, le Rupt de Mad à Jaulny, le canal de la Moselle, la Moselle, la vallée de la Nied et la voie ferrée Metz-Réding à Baudrecourt.

Pour les équipements ferroviaires, la ligne sera équipée classiquement de longs rails soudés UIC 60 sur traverses béton bi-blocs, avec le nouveau système d'attaches élastiques Fastclip.

L'alimentation électrique des trains sera réalisée en 2 x 25 kV à partir de cinq sous-stations directement raccordées sur le réseau général d'alimentation de RTE et implantées aux points kilométriques 22 à Penchard (77), 88 à Vézilly (02), 151 à Cuperly (51), 212 à Trois-Domaines (55) et 270 à Vandières (54).

Ce dispositif remplace celui prévu initialement avec une ligne dédiée 110 kV le long de la LGV, qui a été revu pour une meilleure insertion du projet et une optimisation des coûts, anticipée par RFF lors du bouclage financier du projet en janvier 1999.

Au niveau du contrôle-commande des installations, la LGV sera équipée pour la première fois du nouveau système de signalisation européen ERTMS niveau 2 superposé à la TVM 430, et les fonctions de radio sol-train seront assurées par le nouveau système GSM-R.

L'ensemble des installations de la LGV sera commandé par un poste de commandement à distance (PCD) unique situé à Pagny-sur-Moselle.

La LGV est conçue pour être une ligne interopérable conformément aux spécifications techniques d'interopérabilité (STI) publiées fin 2003 par l'Union européenne. En préalable à la mise en service du projet, un dossier de sécurité sera établi conformément aux dispositions du décret relatif à la sécurité du réseau ferré national.

CERTIFER, organisme indépendant, a été choisi par RFF pour certifier respectivement à l'Etat et à l'Union européenne, la conformité du projet à la réglementation nationale de sécurité et aux STI.

Les principaux enjeux pour le génie civil du projet

Les terrassements

Même si le nombre d'ouvrages est conséquent, le projet de la LGV Est européenne est surtout un projet de terrassement. A ce titre, les stratégies de réemploi des matériaux, les techniques de traitement et la gestion des volumes d'approvisionnements extérieurs de matériaux sont essentielles pour la maîtrise des coûts et des délais du projet.

Ce processus a été initialisé par la définition avec les maîtres d'œuvre de campagnes de reconnaissance de sol conséquentes dès le début de leurs missions.

Les résultats de ces investigations ont permis de déterminer, outre les caractéristiques intrinsèques des sols rencontrés pour les calculs de stabilité, les conditions et les possibilités de réemploi et, par voie de conséquence, les besoins en fournitures extérieures de matériaux.

Ils ont confirmé ou mis en évidence :

- ◆ le caractère sensible de certains matériaux, comme les zones de gypse en Seine-et-Marne, les marnes et argiles du Tardenois, le caractère gonflant des schistes cartons de la vallée de la Moselle et des argiles à Amalthées du plateau lorrain ;
- ◆ la nécessité d'approvisionner 10 millions de tonnes de matériaux qui ne pouvaient être trouvés sur place ou élaborés à partir des matériaux du site, pour faire face aux besoins du projet en structures d'assises, matériaux de zone inondable ou de zone humide, etc. ;

- ◆ le volume très important des matériaux à mettre en dépôt (21,5 millions de m³).

Ces données ont orienté les réflexions vers :

- ◆ un calage adapté des calendriers de réalisation, pour donner au moins deux saisons sèches à chaque lot de travaux, en raison de la sensibilité des sols aux conditions climatiques ;
- ◆ une gestion globale des approvisionnements de matériaux par le maître d'ouvrage ;
- ◆ une maîtrise anticipée des zones potentielles de dépôts par le maître d'ouvrage.

Les approvisionnements de matériaux

Les études d'avant-projet détaillé et de projet, réalisées par les maîtres d'œuvre, ont permis d'ap-

préhender les quantités et les natures de matériaux à approvisionner sur les chantiers. Ces matériaux concernent pour l'essentiel des matériaux dits "nobles" pour les zones inondables ou humides en base des terrassements, les blocs techniques d'ouvrages d'art, les structures d'assises (couche de forme et sous-couche).

L'approvisionnement des besoins considérables (10 millions de tonnes) de matériaux, à mettre en œuvre à des stades différents des travaux et sur tous les lots de génie civil, supposait une programmation rigoureuse et une gestion des priorités possibles seulement avec une anticipation des fournitures par rapport au début des travaux, pour respecter des cadences compatibles avec, d'une part, les capacités et les autorisations de production des carrières, et d'autre part, les capacités des systèmes de transport et les flux de poids lourds acceptables par les riverains concernés.

Ces éléments et la volonté d'éviter des phénomènes d'auto-concurrence que n'aurait pas manqué de générer un fractionnement des responsabilités pour la fourniture des matériaux, ont conduit RFF à assurer directement et de manière globale, au niveau de la maîtrise d'ouvrage, la gestion de ces approvisionnements, par des marchés à bons de commande passés après appel d'offres européen.

Le choix des fournisseurs tient compte :

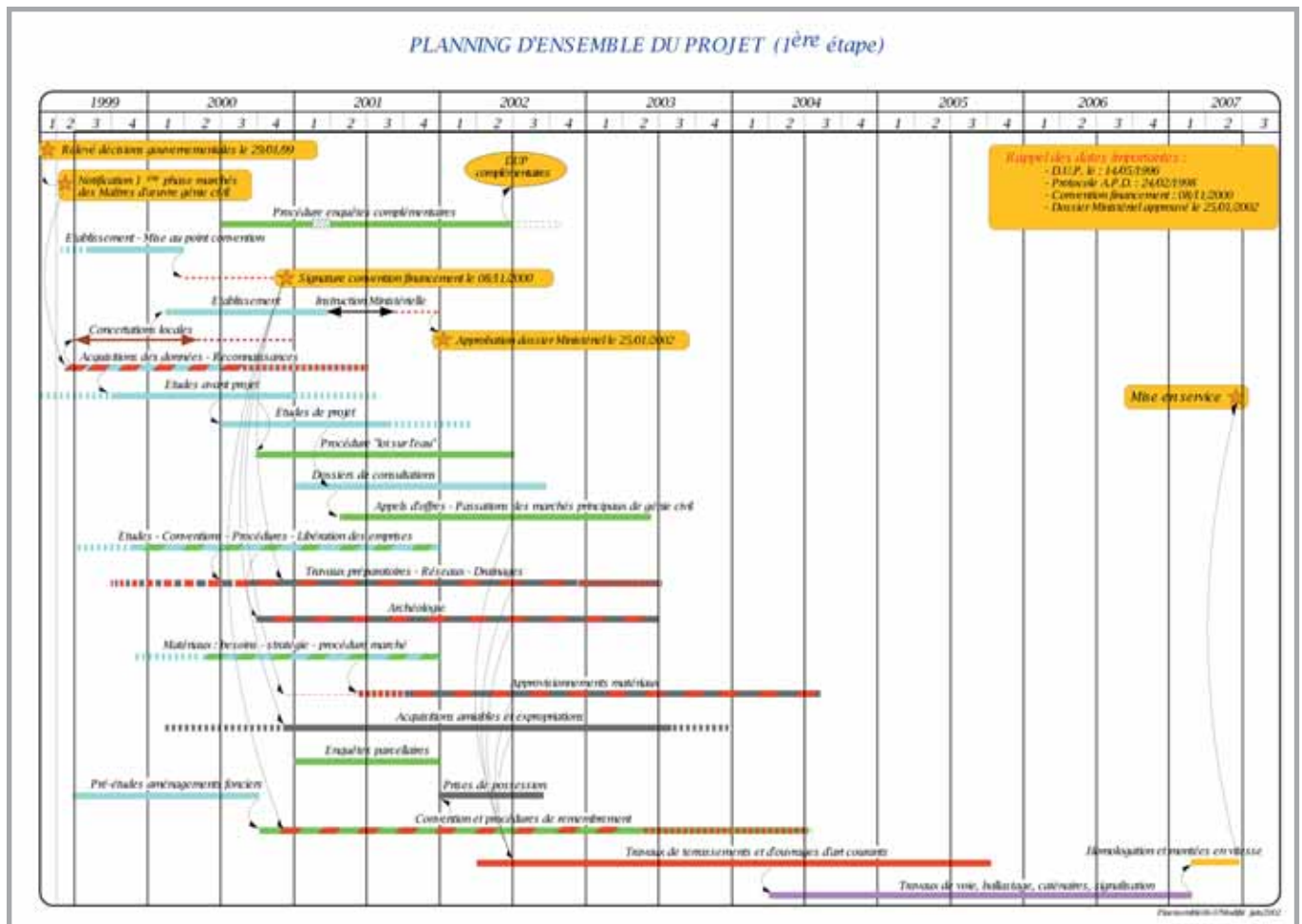
- ◆ du type de matériau à fournir ;
- ◆ du coût global de fourniture (achat, transport, stockage) du matériau considéré ;
- ◆ des capacités de production et de livraison, avec notamment le trafic total généré sur un itinéraire par l'ensemble des besoins du chantier ;
- ◆ de l'incidence sur le dispositif global d'un choix unitaire, pouvant nécessiter plusieurs itérations dans le processus de décision.

Cette gestion centralisée a également permis la négociation d'un contrat unique avec Fret SNCF pour l'ensemble des transports ferroviaires relatifs à ces matériaux, permettant au transporteur une bonne visibilité des transports à effectuer, une organisation performante et, par voie de conséquence, un prix a priori intéressant pour le maître d'ouvrage. A fin avril 2004, la part des approvisionnements confiés au mode ferroviaire atteignait 80 %, limitant ainsi les difficultés avec les riverains fortement mobilisés contre la circulation de norias de camions dans les villages.

Les vallées inondables

Avec le bruit, le risque d'aggravation des inondations est une des préoccupations majeures des riverains, des élus locaux et des associations, notamment dans les grandes vallées inondables de la Meuse et de la Moselle : leurs largeurs ne permettaient pas un franchissement en viaduc "intégral", et les remblais partiels projetés ont suscité beaucoup d'oppositions.

Figure 6
Calendrier directeur
de l'opération
Master schedule
of the project



► Pour la mise en œuvre des procédures de concertation et d'autorisation prévues par la loi sur l'eau de 1992, le tracé a été divisé, en accord avec la direction de l'Eau du ministère de l'Environnement, en dix unités hydrographiques qui ont fait chacune l'objet d'une enquête publique et d'un arrêté préfectoral d'autorisation des travaux. Les études hydrauliques, les modélisations qui ont été réalisées pour simuler l'impact des ouvrages, ont permis de vérifier le respect du critère, particulièrement sévère, fixé pour les zones habitées, qui est de ne pas augmenter de plus de 1 cm la hauteur de submersion lors d'une crue centennale ou de la plus grande crue historique connue. Pour les grandes vallées précitées, les préfets ont souhaité, dans le cadre des procédures, des tierces expertises sur les études réalisées, pour disposer d'un avis extérieur et indépendant, rendu public. Ces expertises ont confirmé le dimensionnement des ouvrages pour le franchissement de la Moselle et ont conduit le préfet de la Meuse, en application du principe de précaution, à prescrire un allongement du viaduc de la Meuse d'environ 50 m.

La prise en compte de l'environnement

Le respect de l'environnement fait aujourd'hui partie intégrante de la qualité d'un projet, et c'est une clé essentielle de sa réussite. Il a été pris en compte dans la définition du projet dès les premières études, en appréhendant l'ensemble des théma-

tiques concernées. Les enjeux et la démarche suivie, qui se prolonge en phase chantier et après la mise en service, sont présentés plus loin de manière détaillée.

On ne citera ici que quelques-uns des sujets où les études et la concertation ont été particulièrement fournies pour aboutir à un projet accepté : le tracé en Seine-et-Marne, le passage près de l'agglomération de Reims avec le vignoble et la proximité du Parc naturel régional de la Montagne de Reims, la traversée du Parc naturel de Lorraine, le franchissement des vallées inondables et habitées déjà citées, les zones naturelles sensibles, etc.

Le budget et le calendrier de la première phase

Le budget pour les installations fixes de l'opération d'ensemble se décompose en deux parties correspondant aux périmètres respectifs de maîtrise d'ouvrage de RFF et de la SNCF.

Aux conditions économiques de juin 1997, l'approbation ministérielle du projet fixe la part RFF à 2 950 millions d'euros hors taxes, incluant les dépenses de construction de la première phase de la ligne nouvelle proprement dite avec ses raccordements au réseau existant, les aménagements du réseau existant réalisés au titre des installations terminales, les études d'avant-projet détaillé de la seconde phase, les opérations foncières en

Alsace, et des opérations complémentaires réalisées à la demande de tiers, qui font l'objet de financements spécifiques (par exemple : la réservation d'un élargissement futur d'une voirie dans l'ouvrage de franchissement de la LGV). Ce budget se décompose comme suit :

Ligne nouvelle : 2 496,1 dont :

- infrastructure (y compris foncier et libération des emprises) : 1 557,8
- équipements ferroviaires : 758,9
- maîtrise d'œuvre : 179,5

Installations terminales (aménagement connexes sur réseau existant) : 357,3

Etudes préalables : 16,8

Maîtrise d'ouvrage (y compris acquisitions de données) : 79,7

Total : 2 950,0.

Dans cette évaluation, les opérations à financement spécifique représentent 33,6 M€.

Le rappel des grandes dates qui jalonnent l'histoire de ce projet montre bien le temps nécessaire à la genèse d'un tel ouvrage :

- de 1985 à 1990 : études préliminaires ;
- 1992-1993 : avant-projet sommaire ;
- 1994-1996 : procédure d'utilité publique ;
- 1996-1999 : études de phasage et mise au point du financement ;
- à partir de 1999 : études détaillées ;
- novembre 2000 : convention de financement ;
- été 2002 : début des grands travaux de génie civil ;
- été 2004 : début de la pose des équipements ferroviaires.

Les études détaillées ont pu démarrer en 1999, avec la désignation des maîtres d'œuvre, grâce à un protocole spécifique de financement établi à cet effet.

Les travaux et les approvisionnements de matériaux n'ont pu être engagés qu'après la signature effective en novembre 2000 de la convention de financement, qui concrétisait le montage financier de l'opération, arrêté dans ses principes le 29 janvier 1999.

La figure 6 présente le calendrier directeur de l'opération en cours, à partir de ce jalon essentiel.

■ L'ORGANISATION DU PROJET ET SON AVANCEMENT

L'organigramme général

Avant d'approfondir le thème de l'environnement, puis de parcourir dans les articles qui suivent, quelques-uns des chantiers de génie civil en cours en compagnie des maîtres d'œuvre et des entreprises, quelques clés sur l'organisation générale mise en place par RFF pour le projet.

Les grands principes ont déjà été évoqués : répartition des périmètres de maîtrise d'ouvrage entre

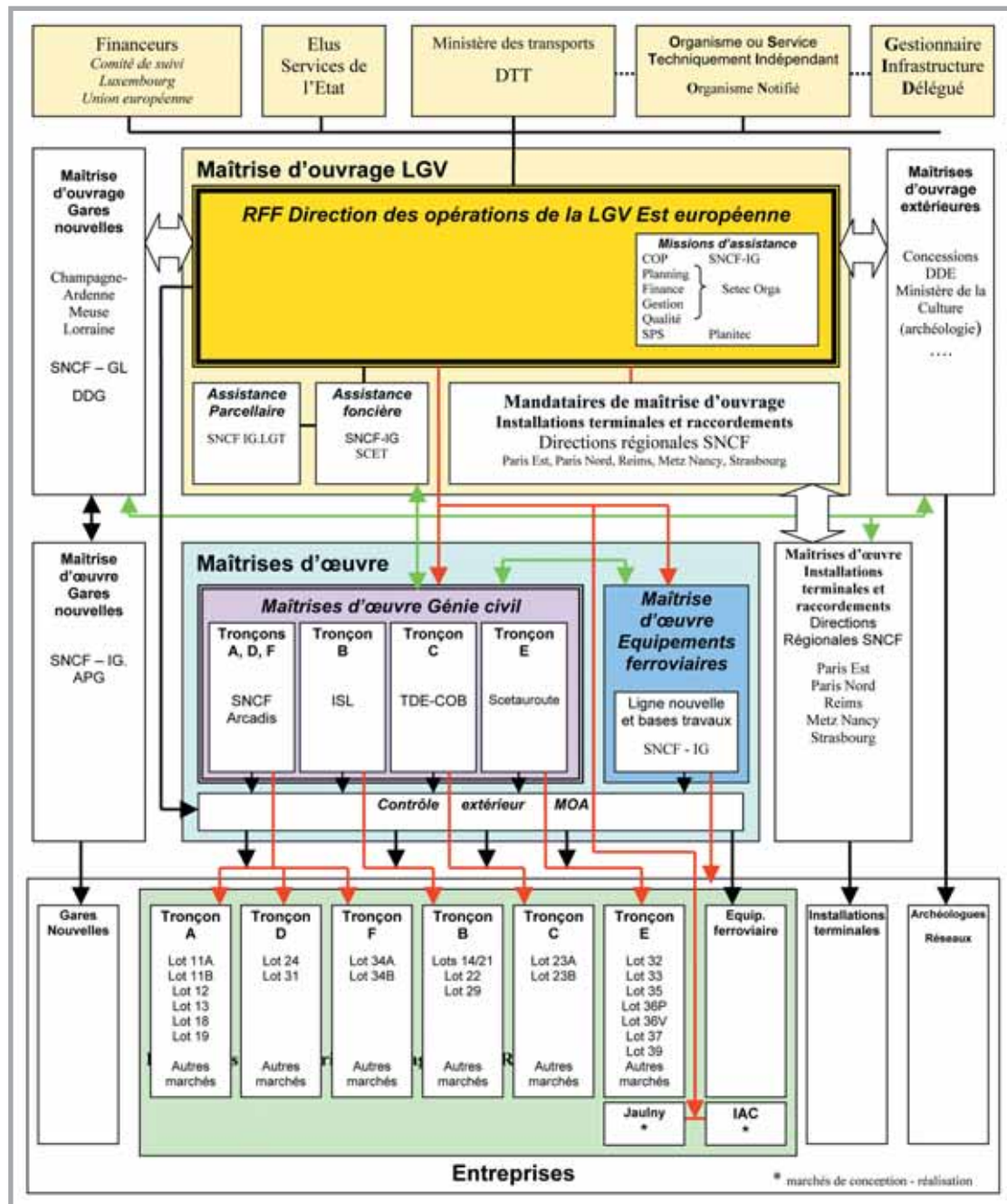


Figure 7
Organigramme de l'opération
Project organisation chart

RFF et la SNCF, séparation de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre pour la ligne nouvelle. La figure 7 présente de manière schématique cette organisation et les interfaces entre l'ensemble des nombreux intervenants.

La maîtrise d'ouvrage

S'agissant de l'organisation de la maîtrise d'ouvrage :

- l'équipe spécifique de RFF, basée à Paris, est appuyée par des missions externes d'assistance à maîtrise d'ouvrage de nature technique (la mission COP de la SNCF), pour la gestion de projet (Setec Organisation) et pour la coordination des actions en matière de sécurité (Planitec) ;
- pour les opérations foncières, RFF a partagé

- ▶ des missions d'assistance foncière entre la SNCF et la SCET ;
- pour les aménagements sur le réseau en exploitation, RFF a confié des mandats de maîtrise d'ouvrage aux régions SNCF concernées.

La maîtrise d'œuvre

Pour le génie civil de la LGV, la maîtrise d'œuvre a été attribuée après un appel d'offres européen à cinq groupements, avec la répartition suivante des huit tronçons de la ligne :

Pour les six tronçons de la première étape (études et supervision des travaux) :

- ◆ tronçon A (63 km) de Vaires-sur-Marne (77) à Château-Thierry (02) : SNCF-Arcadis ;

- ◆ tronçon B (56 km) de Château-Thierry à Taissy (51) : ISL (Ingerop-Thalès-Luxconsult) ;

- ◆ tronçon C (47 km) de Taissy à Tilloy-et-Bellay (51) : Tractebel Development Engineering - Coyne et Bellier ;

- ◆ tronçon D (63 km) de Tilloy-et-Bellay à Bannancourt (55) : SNCF-Arcadis ;

- ◆ tronçon E (42 km) de Bannancourt à Champey-sur-Moselle (54) : Scetauroute ;

- ◆ tronçon F (28 km) de Pont-à-Mousson (54) à Baudrecourt (57) : SNCF-Arcadis ;

Pour les deux tronçons de la seconde étape (études détaillées seules) :

- ◆ tronçon G (71 km) de Baudrecourt à Danne-et-Quatre-Vents (57) : SNCF-Arcadis ;

- ◆ tronçon H (35 km) de Danne-et-Quatre-Vents à Vendenheim (67) : Setec.

La direction de l'Ingénierie de la SNCF est le maître d'œuvre des équipements ferroviaires.

L'allotissement des travaux

Les approvisionnements de matériaux de carrière que RFF gère directement, ont été répartis après consultation entre une dizaine de carriers pour desservir 26 aires de stockage tout au long des 300 km de chantier.

Les travaux de génie civil ont été répartis en 23 lots principaux, 13 TOARC (terrassements, ouvrages d'art, rétablissements des communications) et 10 lots d'ouvrages.

Parmi ces derniers, le viaduc de Jaulny est un cas à part : compte tenu de la sensibilité de la vallée traversée, il a fait l'objet d'un concours, et le marché a été passé sous la forme d'un contrat de conception-réalisation : le groupement titulaire est à la fois entreprise et maître d'œuvre.

Pour les équipements ferroviaires, les fournitures et les travaux sont traités en général de manière séparée. Là aussi, une particularité : le marché IAC (installations d'alimentation de la caténaire) qui porte sur les cinq sous-stations d'alimentation électrique, est aussi un contrat de conception-réalisation, passé avec un groupement SNCF-Amec Spie,

après un concours qui avait pour objectif d'optimiser le système initial de l'APS.

La gestion de la qualité

La gestion de l'opération LGV Est européenne est basée sur les principes de l'assurance qualité. L'application de ces principes donne à chacun des intervenants, maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises, l'entière responsabilité du management et de la mise en œuvre de l'assurance qualité et du contrôle qualité de son propre travail, selon un système qualité qu'il doit développer spécifiquement pour l'opération.

L'élaboration de ce système nécessite la prise en compte des contraintes propres de chaque intervenant, des exigences de son contrat et des interfaces avec les autres partenaires de l'opération. Les principes retenus donnent ainsi aux entreprises la pleine et entière responsabilité pour le contrôle qualité de leurs travaux. Elles doivent pouvoir attester de la conformité de leurs prestations aux spécifications des marchés, en assurant de manière transparente la traçabilité de leurs interventions. Le maître d'œuvre et des contrôles extérieurs sont chargés de vérifier le fonctionnement correct du dispositif.

Force est de constater que les entreprises n'étaient pas toutes prêtes à l'évolution qu'impose cette organisation dans leurs méthodes de travail, et qu'elles doivent poursuivre en la matière leurs actions de sensibilisation et de formation interne.

L'état d'avancement du projet

Après la maîtrise des emprises, la déviation des réseaux interceptés, les opérations d'archéologie préventive, les 23 lots de terrassement et d'ouvrages d'art ont été lancés et le chantier de génie civil est en cours sur les 300 km de la première phase. Il durera jusqu'en 2005.

A fin avril 2004, 9,3 millions de tonnes de matériaux de carrière ont été approvisionnés par RFF sur les différentes aires de stockage réparties le long de la trace, dont plus de 80 % transportées par chemin de fer ; 70 % des volumes de terrassement prévus ont été réalisés ; 140 ouvrages d'art sont achevés et 150 sont en cours de construction. Des premières sections de génie civil, commencées en 2002, font l'objet des opérations préalables à la réception.

Dès 2004, le chantier des équipements ferroviaires montera en puissance derrière le génie civil. Les marchés principaux d'équipements ferroviaires sont passés. La construction des bases travaux d'Occerre et de Pagny-sur-Moselle progresse normalement ; la base de Saint-Hilaire-au-Temple est opérationnelle et permettra d'engager les travaux en ligne cet été, avec la pose des câbles de télécommunication et des poteaux caténaires par

voie routière, – une innovation –, et la pose de la voie à l'automne.

Globalement, les travaux se déroulent conformément au calendrier directeur de l'opération, avec l'objectif d'une mise en service de la première étape à la mi-2007.

ABSTRACT

The East European High-Speed Train Line : from dream to reality

P. Trannoy, A. Cuccaroni

The East European High-Speed Train Line will revolutionise rail service in eastern France with, for more than eleven million passengers, time savings of up to one-and-a-half hours between Paris and towns located in Lorraine and Alsace. This new infrastructure will also make it possible to offer direct services between the provinces by means of a line bypassing Paris; it also forms part of the major European projects, with the planned new links to the German, Luxembourg and Swiss networks, as part of a future large rail corridor going from Paris to Budapest.

If the work was able to be finally started in January 2002 on an initial phase of 300 km between Vaires-sur-Marne and Baudrecourt, this is chiefly due to the decisive financial contributions by the state and 17 local governments in the regions which the new line passes through. The capital invested by Réseau Ferré de France (RFF), for approximately 23 % of the cost, is also supplemented by subsidies from Europe and Luxembourg.

The High-Speed Train Line, designed for a speed of 350 km/h, will be travelled on at 320 km/h at commissioning; it will be equipped with ERTMS and GSM-R, ground-train signalling and radio systems meeting European standards and hence interoperable.

Réseau Ferré de France, the contracting authority for the High-Speed Train Line, has established a dedicated team based in Paris. Project management for civil engineering work on the line was awarded on a tender basis to various engineering offices.

The civil engineering work is under way on the 300-km line, and 70 % of the earthworks have been performed. The railway equipment work will begin in the second half of 2004. The target date for commissioning is set at mid-2007.

RESUMEN ESPAÑOL

La LAV Este europea : desde el mito hasta la realidad

P. Trannoy y A. Cuccaroni

La Línea de Alta Velocidad Este europea (LAV) habrá de revolucionar las comunicaciones del Este de Francia con, para más de once millones de pasajeros, y una ganancia de tiempo que puede representar hora y media entre París y las ciudades de Lorena y Alsacia. Esta nueva infraestructura permitirá también brindar los servicios ferroviarios de provincia a provincia debido a la línea de circunvalación de París. También forma parte de los grandes proyectos europeos debido a las nuevas conexiones proyectadas con las redes alemanas, luxemburguesas y suizas, en el marco del futuro corredor ferroviario que se extiende desde París hasta Budapest.

Finalmente, si las obras han podido ser iniciadas en enero de 2002 para una primera etapa de 300 km entre Vaires-sur-Marne (77) y Baudrecourt (57), ello se debe, en primer lugar, debido a las contribuciones financieras determinantes del Estado y de 17 entes territoriales de las regiones atravesadas por la nueva línea. La proporción de fondos propios invertidos por RFF, de un 23 % aproximadamente, se ha visto completada también por las subvenciones de Europa y de Luxemburgo. La LAV, trazada para 350 km/hora, alcanzará 320 km/h en el momento de su entrada en servicio. Esta línea estará dotada de ERTMS y de GSM-R, sistemas de señalización y de radio tierra-tren acorde a las normas europeas y, por ende, interoperables.

Reseau Ferré de France, empresa contratante de la LAV, ha implantado un equipo técnico, con base en París. La dirección de ingeniería civil de la línea ha sido encargada, tras la oportuna licitación, a diversas entidades de estudios técnicos.

Las obras de ingeniería civil se han emprendido para los 300 km de línea y ya se han ejecutado los movimientos de tierras correspondientes. Las obras de los equipos ferroviarios darán comienzo durante el segundo semestre de 2004. El objetivo de la puesta en servicio se ha proyectado para mediados de 2007.

L'environnement intégré, du projet

La LGV Est européenne, de par la diversité des territoires concernés et l'ampleur de ses travaux, se veut exemplaire du point de vue du respect de l'environnement local et de l'aménagement concerté des territoires.

Les efforts réalisés par les acteurs du chantier pour réussir l'insertion de la ligne dans les paysages, les précautions prises pour la sauvegarde de la biodiversité et le respect de l'eau, les aménagements prévus pour limiter les effets de coupure ou sonores lors de la mise en service de la ligne, renforceront demain le projet mais aussi les terroirs dans lesquels elle va s'inscrire pour une longue période.

En intégrant l'environnement dès les études préliminaires dans le cahier des charges du projet, en "pensant l'environnement" avant le début des travaux, et en contractualisant les mesures à prendre avec les entreprises, Réseau Ferré de France a mis en place une politique globale de prise en compte de l'environnement naturel et humain qui servira pour lui de référence pour ses autres projets d'infrastructure dans l'avenir. Il faut, dans le domaine de l'environnement comme dans d'autres, savoir imposer ambitions et innovations, dans l'écoute de ceux qui agissent sur le terrain.

L'intérêt général passe aussi par le respect des territoires locaux. Participer, à leur niveau, à la valorisation de ces territoires constitue, pour tous ceux qui s'occupent de l'environnement, à RFF, chez les maîtres d'œuvre et les entreprises, un motif de fierté.



Photo 1
Vue générale du viaduc de la Meuse
General view of the Meuse viaduct

Le projet de liaison à grande vitesse entre Paris et les régions de l'Est de la France est attendu depuis vingt ans par le grand public. Les riverains du chantier, les associations de protection de l'environnement et tous les acteurs, liés de près ou de loin aux problématiques environnementales attendaient, eux, que le maître d'ouvrage prenne aussi en compte la qualité de l'environnement des territoires traversés. S'occuper d'environnement, c'est d'abord être à l'écoute.

Ici, c'est un chemin de randonnée qu'il faudra dévier. Là, c'est une zone sensible accueillant une faune remarquable à éviter. Ailleurs, ce sont les questions sur le bruit qui ont mobilisé l'attention. Plus loin, c'est la traversée d'un parc naturel. Que l'on se trouve près de Paris ou en Moselle, la SNCF a mené, puis Réseau Ferré de France mène aujourd'hui, une politique globale qui intègre l'environnement au même titre que la haute technologie du projet.

Ainsi, le tracé de la LGV Est européenne répond aux exigences du maître d'ouvrage et de ses partenaires : s'éloigner le plus possible des zones habitées, éviter les milieux naturels sensibles, respecter le patrimoine culturel, s'intégrer aux paysages. S'occuper d'environnement, c'est faire de l'environnement une priorité (photos 1 et 2).

Cette politique environnementale, fondée sur le développement durable et l'implication des personnes, est partagée par tous les acteurs du chantier. Maître d'ouvrage, maîtres d'ouvrage mandatés pour les travaux sur les lignes classiques, maîtres d'œuvre, entreprises de travaux : tous sont mobilisés sur le terrain pour répondre aux engagements de l'Etat pris lors de la déclaration d'utilité publique, signée pour la première fois par un ministre en charge de l'environnement.

S'occuper de l'environnement, c'est mobiliser les Hommes et les Femmes du chantier.

Cette politique environnementale est régulièrement présentée aux acteurs et discutée avec eux, à travers les nombreuses procédures de consultation, par exemple les enquêtes "loi sur l'eau" ou les démarches liées aux "ICPE" (Installations classées pour la protection de l'environnement). Au-delà de ces rendez-vous, le travail de Réseau Ferré de France et de ses prestataires est passé en revue devant les comités départementaux de suivi des engagements de l'Etat, présidés par le préfet concerné, et qui réunissent les acteurs de l'environnement du territoire concerné.

S'occuper de l'environnement, c'est s'engager à dire les actions entreprises.

Ce qui fait la force de cette politique, c'est sa mise en action, chaque jour, tout au long des 300 km

un gage de réussite

Sandrine Rabaseda



RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT
Direction des opérations
de la LGV Est européenne
Réseau Ferré de France



Photo 2
Vallée du Rupt-de-Mad
Rupt-de-Mad Valley

Photo 3
Travaux sur lignes existantes en zone urbanisée à Chelles (77)
Work on existing lines in an urban area in Chelles

en construction. Le projet est gigantesque. Cela n'empêche pas RFF de prendre en compte les particularités rencontrées, de le faire dans le respect de la faune et de la flore remarquables des régions d'Île-de-France et de l'Est, tout en apportant des réponses aux questions des habitants.

■ LA DIVERSITÉ ET LA RICHESSE DES TERRITOIRES TRAVERSÉS

S'étirant sur plus de 300 km et six départements, la première phase de la LGV Est européenne s'inscrit dans les territoires du grand Est. De Paris à Baudrecourt, la diversité des paysages s'appréhende sur la totalité de cet important linéaire.

Des zones urbanisées de la région parisienne aux prairies lorraines, en passant par la Champagne crayeuse, les massifs forestiers de l'Argonne, les vallées de la Meuse et de la Moselle, la LGV traverse des milieux variés présentant chacun ses particularités propres.

Chacune des quatre régions, l'Île-de-France, la Picardie, la Champagne-Ardenne et la Lorraine, a ses propres enjeux environnementaux. La présence de deux parcs naturels (le Parc naturel régional de la Montagne de Reims et le Parc naturel régional de Lorraine), de ZICO (Zones d'importance communautaire pour les oiseaux), comme celle des étangs d'Argonne, de ZNIEFF (Zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique), de zones humides inscrites à la convention RAMSAR et de sites proposés au réseau Natura 2000, sont autant d'élé-



Photo 4
Traversée des vignobles champenois
Passage through vineyards in the Champagne Region

ments significatifs de la richesse des territoires traversés.

Dans un souci global de préservation, chacun de ces sites fait l'objet d'une attention particulière et des mesures de préservation adaptées sont mises en place.

Ainsi, pour ce qui est des milieux, on ne traite pas de la même façon la mégaphorbiaie eutrophe du bois des Marais (Seine-et-Marne), le vignoble champenois, les pelouses calcaires de Lorraine ou les prairies salées de la vallée de la Nied. Pour ce qui est des espèces, les mesures sont différentes selon que l'on a affaire aux tritons de la Marne, aux cerfs de l'Argonne ou aux hirondelles des rivages de la vallée de la Creuë.

Cette diversité et cette richesse constituent un enjeu important pour la réussite du projet (photos 3, 4).

SUIVI DES CRUES DE LA MEUSE

Pour répondre aux interrogations des riverains et des agriculteurs, bien que le projet ait été validé du point de vue hydraulique, et que l'autorisation des travaux au titre de la loi sur l'eau ait été donnée, il a été demandé à RFF de mettre en place, dès la phase chantier, un suivi spécifique des crues de cette rivière.



© Ch. Sasso/CAPA/RFF - 2004

A l'issue de plusieurs réunions entre Réseau Ferré de France, le maître d'œuvre Scetauroute, la Chambre d'agriculture, le bureau d'études BCEOM et le Service de la Navigation du Nord-Est, les modalités de suivi des zones agricoles ont été définies :

- 2002-2003 : réalisation de l'état de référence, avec la mise en place des outils de diagnostic (échelles limnimétriques, piézomètres, station limnimétrique automatique, tensiomètres, pluviomètre) et réalisation d'un état zéro par enquête dans les

Photo 5
Viaduc de la Meuse (55)

Meuse viaduct

sièges d'exploitations agricoles concernés ;
- automne 2003 : début de la phase de suivi sur 10 ans ;
- présentation régulière des résultats.

La démarche comprend :

- le suivi de la zone soumise à l'influence de la LGV dans l'état actuel, puis après la construction. Ce suivi permettra une comparaison objective du type "avant-après" ;
- le suivi comparatif d'une zone non soumise à l'influence de la LGV à l'aval du projet.

En parallèle, un suivi des zones habitées est mis en place, qui porte sur les crues de période de retour au moins supérieure à 10 ans et consiste à surveiller les hauteurs d'eau et les durées de submersion (photo 5).

► ■ UNE LIGNE, CINQ THÉMATIQUES FORTES

Notre société devient de plus en plus exigeante en matière d'environnement et de préservation du cadre de vie. Ses attentes s'affirment et se focalisent généralement sur cinq thèmes particuliers.

L'eau, un patrimoine commun à préserver

L'eau est notre première ressource vitale, et, à ce titre, doit évidemment être protégée pendant la construction, et également dans la configuration finale de l'ouvrage construit.

La loi sur l'eau de 1992 et ses décrets d'application de 1993 ont renforcé la protection de l'eau dans les projets d'aménagement.

La construction de la ligne doit répondre aux orientations fondamentales de cette loi, à savoir :

- ◆ la transparence de la ligne vis-à-vis des écoulements hydrauliques ;
- ◆ la protection de la qualité des eaux superficielles et souterraines, notamment en phase travaux ;
- ◆ la préservation des milieux aquatiques et des populations (faune et flore) qui leur sont liées.

La LGV Est européenne entre bien sûr dans la catégorie des projets soumis à autorisation au titre de la loi sur l'eau. Le linéaire a été découpé en dix unités hydrographiques, respectant la définition des unités de référence des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Dix enquêtes publiques ont été organisées sur la période 2001 - 2002, au cours desquelles la population, les élus et les associations ont pu demander des compléments d'information, et le maître d'ouvrage, apporter des réponses. Ces procédures ont abouti à des arrêtés préfectoraux autorisant les travaux et prescrivant des modalités particulières de construction et d'exploitation.

L'ouverture des ouvrages de franchissement des cours d'eau est calculée sur la base des crues centennales ou des plus grandes crues historiques connues, de manière à rendre la LGV transparente vis-à-vis de l'eau. La traduction concrète, et particulièrement sévère, sur le territoire du SDAGE Rhin-Meuse, pour la traversée des vallées de la Meuse et de la Moselle, était de limiter le remous engendré à un centimètre au maximum au droit des zones habitées.

Pour la vallée de la Meuse, un suivi pendant dix ans des crues et des effets des ouvrages a été prescrit, sur les zones habitées et les zones agricoles (cf. encadré "Suivi des crues de la Meuse").

Le bruit, ennemi public numéro un

Si RFF a qualifié le bruit comme ennemi public numéro un, c'est bien qu'il considère, en toute transparence, que le bruit du passage des trains modifie le cadre de vie des riverains et constitue un problème à traiter. Une attention particulière a été portée sur ce point dès les premières études de tracé. Le choix s'est porté sur une ligne à bonne distance des zones habitées et dans la mesure du possible, sur une implantation basse de son profil en long.

Les engagements sur le bruit, relatifs à la LGV Est européenne, ont été fixés par le ministère chargé des Transports le 23 septembre 1993. La contribution sonore de la ligne nouvelle, à son ouverture, ne devra pas dépasser en LAeq 6 h - 22 h un seuil de gêne de 62 décibels, seuil abaissé à 60 décibels lors de la mise en service des matériels TGV de nouvelle génération. Ces engagements valent obligation de résultats pour RFF, qui pour les satisfaire doit mettre en place dans certains secteurs, des protections acoustiques. Trois types sont envisageables selon les cas : merlons, écrans ou isolations de façade dans certains cas particuliers. Les merlons, qui s'interposent entre la source du bruit et les habitations, constituent une protection efficace et particulièrement adaptée en milieu rural, car ils peuvent être végétalisés ou modelés pour s'insérer harmonieusement dans le paysage. Les écrans acoustiques peuvent être réfléchissants,

en béton ou en verre, ou absorbants, en béton et bois ou métal et laine de roche. Ils ont une très bonne efficacité et présentent l'avantage de ne pas élargir les emprises, mais leur aspect extérieur se prête moins à une insertion satisfaisante en milieu rural (photo 6).

En phase travaux, le bruit est aussi une crainte des riverains. La protection contre le bruit est une des exigences environnementales que doivent respecter les entreprises de génie civil.

Outre l'information des riverains, l'utilisation d'engins et de matériels conformes aux normes en vigueur, le maître d'ouvrage peut être amené à prescrire l'implantation de matériels fixes bruyants loin des zones sensibles, et interdire le travail de nuit ou les jours fériés.

Le paysage, entre insertion et affirmation de la silhouette de la ligne

Bien qu'elle soit relativement peu consommatrice d'espace (une ligne à grande vitesse nécessite en moyenne 5 à 7 ha au kilomètre, soit 40 % de moins qu'une autoroute 2 x 3 voies), l'acceptation de la ligne passe par la prise en compte de sa dimension paysagère.

Il s'agit de rompre l'effet linéaire de l'infrastructure et d'adapter la ligne aux formes, aux couleurs et à l'ambiance du paysage local. Il faut aussi que la ligne oscille entre insertion et affirmation de sa silhouette.

Les principes d'aménagement des sites sensibles ont été identifiés à l'issue de l'enquête publique. Le maître d'ouvrage a fait réaliser un schéma directeur paysager, élaboré par des paysagistes indépendants travaillant chacun sur un secteur particulier pour en évaluer les enjeux paysagers et proposer des recommandations paysagères (photo 7).

Dans le cadre de ces principes directeurs, le maître d'ouvrage a confié aux maîtres d'œuvre le soin de développer de manière cohérente leur projet technique et son traitement architectural et paysager adapté aux sites traversés, en étroite concertation avec les riverains, sans imposer une architecture de ligne et des aménagements paysagers uniformes de Paris à Strasbourg.

Le renforcement de cortèges végétaux coupés par le projet, la reconstitution de lisières dans les traversées forestières, la création de petites masses boisées ou d'écrans végétaux permettent de limiter la pression visuelle sur les riverains par des avant-plans dans les secteurs où le projet apparaît sur un grand linéaire.

Parallèlement, le parti d'aménagement a pour mission de valoriser le projet, chaque fois que cela est possible, en mettant en avant sa technologie et sa modernité. De manière générale, au niveau des viaducs, ponts et autres ouvrages d'art, les matériaux



Photo 6
Mur antibruit au niveau
de la ferme de la Cense
(77)

Noise attenuation wall
at the level
of Cense farm



Photo 7
Viaduc
de Jaulny
Jaulny
viaduct

et les couleurs sont choisis en fonction de l'identité régionale. Des habillages par plantations de ces ouvrages, toujours en fonction des espèces présentes localement, sont étudiés dans les points particulièrement sensibles ou dans les zones de transition remblais-déblais, les traversées de petites vallées... pour assurer l'intégration de certains ouvrages, et créer ainsi de véritables paysages. Dans le cadre des aménagements paysagers réalisés pour intégrer la ligne dans les territoires qu'elle traverse, RFF s'est engagé, suite à la tempête de 1999, à participer au reboisement et à la mise en valeur de forêts publiques, domaniales et communales. Il s'agit de l'opération "Un million d'arbres" (cf. encadré page suivante).

Les milieux naturels : conservation de la biodiversité

Un recensement minutieux de la faune et de la flore a été réalisé, avant le démarrage des travaux de génie civil. La définition du tracé de la LGV a, dès l'origine des études, tenu compte de l'existence des milieux naturels. Les plus remarquables et les plus fragiles ont été évités, de manière à atténuer les impacts. Des aménagements spécifiques sont mis en œuvre dans la conception même du projet.

Photo 8
Passage grande faune
Underpass for large game



Photo 11
Tri sélectif des déchets de chantier
Selective sorting of site wastes



Pour le rétablissement des axes de déplacement des animaux, par exemple, plus de vingt passages grande faune (PGF) sont prévus pour les cerfs, les sangliers, les chevreuils (photo 8); des ouvrages d'art mixtes sont aménagés à l'attention de la petite faune (PPF); des batrachoducs sont réservés aux batraciens.

L'ensemble des contraintes du projet impose cependant, dans certains cas, le passage à proximité de zones naturelles intéressantes et, malgré toutes les précautions prises, il faut alors envisager des opérations préalables de sauvegarde d'espèces susceptibles d'être impactées.

Ainsi, par exemple, des pêches de sauvegarde de la faune aquatique sont réalisées avant le démarrage des travaux dans les cours d'eau.

Lorsque des déplacements concernent des espèces protégées, ils nécessitent une autorisation préfectorale prise après avis du Conseil national pour la protection de la nature. C'est le cas pour les tritons mais aussi pour des espèces végétales comme l'euphorbe des marais, le troscart maritime, le pygamon moyen... (photos 9 et 10).

Les déchets, identifier, trier, valoriser

En ce qui concerne les déchets, RFF a imposé sur ses chantiers la mise en place de dispositifs de collecte et le tri sélectif (conteneurs, poubelles...) (photo 11).

De plus, une attention particulière est portée à la propreté constante du chantier et de ses abords. Pour s'assurer du respect de ses exigences, RFF demande à l'entreprise attributaire du marché de travaux de rédiger un Schéma d'élimination des dé-



Photo 9
Juin 2002 : opération "Tritons" - Mare du Hardillon (51). Seau contenant des individus avant leur transfert dans une mare recréée

June 2002 : Operation "Salamanders" - Mare du Hardillon. Bucket containing specimens before their transfer into a recreated pool



Photo 10
Septembre 2002 : opération "Troscart" (57). Prélèvement d'une banquette de sol contenant l'espèce à déplacer pour réinstallation dans un secteur préservé

September 2002 : Operation "Arrow-grass". Taking a clod of soil containing the species to be shifted for re-establishment in a protected sector

chets à annexer à son Plan d'assurance environnement (PAE).

Ce Schéma d'élimination des déchets doit identifier la totalité des déchets susceptibles d'être produits par l'ensemble des travaux, installations et activités, indiquer précisément les dispositifs de collecte, le conditionnement des déchets et surtout les filières d'élimination des déchets qui sont mises en place.

■ DE LA CONCEPTION À LA RÉALISATION

La prise en compte des préoccupations environnementales se décline dans le temps : elle démarre dès les premières phases d'études pour se poursuivre bien après la mise en service...

En parallèle de la définition de plus en plus précise du projet technique, les études environnementales s'affinent... Ainsi, le tracé retenu est un consensus entre les contraintes techniques propres à une ligne à grande vitesse et les exigences environnementales.

UN MILLION D'ARBRES

Pour mener à bien cette action, RFF s'est associé à l'ONF dont la mission est d'assurer la gestion multifonctionnelle et durable des forêts publiques, et de permettre la renaissance du patrimoine naturel forestier touché par les tempêtes.

Depuis la signature de la convention entre le président de Réseau Ferré de France et le directeur général de l'ONF, en février 2002, un travail conjoint est mené pour définir les programmes des opérations envisagées, soumis à la validation des communes concernées; ils portent sur :

- des actions de reboisement ;
- des plantations à vocation paysagère ;
- des actions en faveur de la mise en valeur environnementale des forêts ;
- des actions favorisant l'accueil du public, la découverte et la connaissance des milieux forestiers.

Une vingtaine de massifs sont concernés, répartis entre la Seine-et-Marne et l'Alsace.

La prise en compte de l'environnement naturel et humain dès les premières études

Le respect de l'environnement est une donnée intégrée dès les premières études de conception de la LGV Est européenne.

La démarche, à ce stade, était d'appréhender les enjeux environnementaux de la façon la plus complète et d'anticiper les contraintes éventuelles, pour éviter au maximum les zones les plus sensibles (photo 12).

Afin de dresser des inventaires écologiques et de posséder une connaissance exhaustive des milieux, RFF a fait appel à des bureaux spécialisés (Ecolor, Végétude, Ateliers des Territoires...) et aux deux parcs concernés par le tracé pour dresser ou participer aux états initiaux et aux relevés de terrain. Les dernières interventions se sont étalées sur les années 1999-2001.

Eaux superficielles, eaux souterraines, habitats, faune et flore ont été recensées afin de connaître les enjeux, définir les impacts et analyser, en collaboration avec les différents partenaires (services de l'Etat, élus locaux, associations de protection ou organismes compétents en matière d'environnement) les mesures d'adaptation du projet, de réduction ou en dernier lieu, de compensation.

Ce travail a abouti dans certains secteurs, à des mesures d'adaptation du projet comme la variante de Lamorville, en Lorraine, suite à une demande du Parc naturel régional de Lorraine.

La mobilisation de tous les acteurs et partenaires

La concertation

A l'image de l'exemple précité, la concertation peut améliorer le projet de manière consensuelle et dans la limite du raisonnable. Bien plus qu'une obligation réglementaire, c'est un état d'esprit, gage de réussite, fondé sur un souci d'ouverture, d'écoute, de transparence et d'information tout au long de l'élaboration et de la réalisation du projet.

Les comités de suivi des engagements de l'Etat

Le maître d'ouvrage se doit de mettre en œuvre les engagements pris par l'Etat lors de la DUP. Ces engagements sont repris par département dans un dossier qui précise pour chacune des sept thématiques environnementales identifiées, les mesures générales et les mesures particulières qui doivent accompagner la conception et la construction du projet.

L'Etat a mis en place dans chaque département un comité de suivi qui veille au respect de ces engagements. Réuni sous l'égide du préfet, il est constitué d'élus, de responsables socio-économiques et



Photo 12
Jumelage de la LGV
avec l'autoroute A4

*Twinning the High-Speed Train
Line with the A4 motorway*

d'associations représentatives pour la protection de l'environnement. RFF lui rend compte des réponses effectives apportées à ces engagements.

Deux partenaires vigilants

Le Parc naturel régional de la Montagne de Reims (PnrMR) et le Parc naturel régional de Lorraine (PnrL) ont participé, dès le début, à la concertation, aux états initiaux et à la définition des mesures environnementales. De nombreuses réunions ont été organisées, des visites de terrain ont eu lieu. Actuellement, en phase travaux, les représentants des parcs restent plus que jamais mobilisés.

Cette coopération, marquée par une vigilance compréhensible, la détermination et la ténacité de ces partenaires, se poursuivra bien après la mise en service, puisqu'ils resteront associés au projet dans le cadre du bilan environnemental.

La signature, le 1^{er} septembre 2003, d'une convention avec le PnrMR pour un suivi photographique-paysage et la signature, le 22 octobre 2003, d'un protocole avec le PnrL traduisent la prise en compte des territoires des deux parcs dans le cadre du projet, et témoignent d'un esprit de partenariat équilibré (cf. encadré "Le Parc naturel régional de Lorraine", page suivante).

La contractualisation des prescriptions environnementales

Les travaux de génie civil et d'équipements ferroviaires induisent des bouleversements importants du cadre de vie des riverains et des atteintes au milieu naturel. La phase chantier est, au niveau environnemental, l'étape du projet la plus agressive pour les milieux naturels et humains.

L'importance que RFF attache à la prise en compte de l'environnement le conduit à vouloir contractualiser, dans le cadre de ses marchés de travaux de génie civil, les mesures qui s'y rattachent. Par ce biais, les entreprises de travaux deviennent elles aussi des acteurs de la politique environnementale du maître d'ouvrage.

Pour ce faire, les dossiers de consultation des entreprises contiennent une notice environnement qui spécifie les exigences du maître d'ouvrage avec les

LE PARC NATUREL RÉGIONAL DE LORRAINE



Photos 14 et 15
Opération
de marquage
des arbres
par l'ONF

*Tree marking
operation
performed by the
National Forestry
Board (ONF)*



Le Parc naturel régional de Lorraine est un territoire d'exception au patrimoine naturel et culturel unique et rare, labellisé par le ministère de l'Environnement et du Développement durable. Constitué de 188 communes adhérentes, regroupant 74 000 habitants, le parc couvre 210 000 hectares, soit 10 % de la Lorraine. La protection des richesses naturelles, la mise en valeur du patrimoine culturel, la mise en œuvre d'actions pédagogiques et le développement d'activités de loisir et de découverte font partie de ses missions principales (photo 13).

Extrait du protocole signé le 22 octobre 2003 :

Article 1. Les signataires conviennent de conduire une politique exemplaire relative à l'implantation de cet équipement sur le territoire du Parc [...].

Article 3 [...] Le PnrL apportera ses compétences et son savoir-faire sur tout sujet relatif à l'intégration de l'infrastructure [...].

Une action majeure, la préservation du patrimoine génétique végétal : en janvier 2002, à la demande du PnrL, a été décidée l'expérimentation de "Taxons locaux" dans les zones sensibles du parc. Il s'agit de réaliser les travaux de renaturation des terrassements et d'aménagements paysagers à partir du matériel végétal local : des graines et boutures sont récoltées sur le territoire du parc, puis mises en culture en pépinière, pour être ensuite plantées aux abords de la LGV. L'opération "Taxons locaux", pilotée par le maître d'œuvre Scetauroute, est réalisée pour la première fois avec une telle ampleur. Elle concerne plus de 70 000 jeunes plants d'arbustes à produire et plus de 300 arbres tiges à transplanter. Elle a mobilisé de nombreux partenaires comme le Conservatoire et Jardins botaniques de Nancy, les représentants du parc, de nombreuses pépinières locales, la Société Forestière, bureau d'études spécialisé, l'ONF... (photos 14 et 15).



précautions minimales à mettre en œuvre dans l'exécution des travaux et qui définit les dispositions que l'entreprise doit prendre en terme de management environnemental dans le cadre de son marché. RFF se positionne donc sur l'organisation du chantier et sur les précautions minimales à mettre en œuvre dans le cadre de l'exécution des travaux.

Il appelle son attention sur les nuisances liées à l'exécution des travaux, compte tenu de la sensibilité des sites traversés et formule les principales dispositions et exigences qu'il convient d'adopter dans la conduite des chantiers.

L'entreprise doit donc mettre en place un système



Photo 13
Vue du Parc naturel régional de Lorraine
View of the Lorraine regional natural park

basé sur le management environnemental qui se traduit par :

- ◆ la présentation, dans son offre, d'un schéma organisationnel du plan assurance environnement : la prise en compte de l'environnement devient un des critères de choix des entreprises intervenant sur le chantier ;
- ◆ la rédaction, pendant la phase de préparation du chantier, d'un plan assurance environnement ;
- ◆ la présence, à temps complet, sur le chantier, d'un responsable environnement ;
- ◆ la formation et l'information du personnel sur la prise en compte de l'environnement sur un chantier (photo 16).

**Le triptyque environnement
(maître d'ouvrage,
maître d'œuvre, entreprises)**

Chez l'ensemble des acteurs du chantier de la LGV Est européenne, des chargés environnement travaillent au respect des exigences environnementales fixées par le maître d'ouvrage et des engagements pris tout au long de la vie du projet. Ainsi, chez le maître d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les entreprises, ce sont environ une trentaine de personnes qui, chaque jour sur le chantier, ont pour mission la préservation de l'environnement.



Photo 16
 Identification sur le chantier des zones sensibles
Identification of sensitive areas on the site

■ ET APRÈS... : LE BILAN ENVIRONNEMENTAL DE LA LIGNE

La mise en service de la ligne ne met pas un point final aux obligations de RFF. Le suivi des engagements se poursuit trois à cinq ans après, avec l'établissement d'un bilan des effets sur l'environnement qui doit rendre compte des moyens adoptés pour la protection de l'environnement et qui prévoit, le cas échéant, des mesures complémentaires.

Souhaitant aller au-delà d'un simple constat à un instant donné des effets de la ligne nouvelle, un suivi dans le temps de certains thèmes, adaptés aux enjeux des sites traversés et aux caractéristiques de l'aménagement, est envisagé. La mise en place de cette opération importante a débuté en novembre 2003 et se poursuivra au moins jusqu'en 2010.

Dans l'organisation du bilan, RFF associe étroitement les partenaires habituels et historiques du projet, qui sont consultés sur le programme d'observations, les thèmes et les sites suivis, les méthodologies de ces suivis.

Cette démarche sera l'occasion de rendez-vous intermédiaires durant les trois à cinq ans après la mise en service, délai au bout duquel RFF devra rendre public le bilan environnemental de l'opération.

ABSTRACT

Environmental planning, a guarantee of success for the project

S. Rabaseda

The East European High-Speed Train Line, considering the diversity of the areas involved and the scale of its work, can claim to be exemplary from the viewpoint of local environmental conservation and comprehensive regional planning.

The efforts made by the project stakeholders to successfully integrate the line into the landscapes, the precautions taken to safeguard biological diversity and for water conservation, and the amenities planned to limit the barrier and sound nuisance effects when the line comes into operation, will reinforce the project tomorrow but also the lands of which it will form a part in the long term.

By allowing for the environment as of the preliminary design work in the project specifications, by "thinking environmentally" prior to the start of the works, and by contractualising the measures to be taken with the contractors, Réseau Ferré de France adopted a comprehensive policy of allowing for the natural and human environment which will serve for it as a benchmark for its other infrastructure projects in the future. In the environmental area, as in other areas, you have to be able to assert your ambitions and innovations forcefully, while remaining attentive to those working in the field.

The general interest also requires protecting local areas. All those who deal with environmental questions, at RFF and for the project managers and the contractors, have reason to be proud of their contribution, at their level, to the enhancement of these areas.

RESUMEN ESPAÑOL

La integración del medio ambiente, una garantía para el logro del proyecto

S. Rabaseda

La Línea de Alta Velocidad Este europea (LAV) cuya diversidad de territorios interesados y la amplitud de sus obras, trata de constituir un ejemplo desde el punto de vista del respeto del medio ambiente local y del acondicio-

namiento concertado de los territorios implicados.

Los esfuerzos desarrollados por parte de los protagonistas de las obras para lograr la inserción de la línea en los paisajes, así como las precauciones tomadas para la salvaguardia de la biodiversidad y el respeto del agua, así como los acondicionamientos proyectados para limitar los efectos de ruptura o sonoros con motivo de la puesta en servicio de la línea, habrán de reforzar, en un futuro próximo, no sólo el propio proyecto sino también las tierras en que se habrá de enmarcar para un dilatado periodo.

Al integrar el medio ambiente, desde el comienzo de los estudios preliminares en el pliego de condiciones del proyecto, y "pensando siempre en el medio ambiente" antes del comienzo de las obras, y contractualizando las medidas que cabe tomar con respecto a las empresas constructoras, Réseau Ferré de France ha implantado una política global de integración del entorno natural y humano que habrá de servir de referencia para sus demás proyectos de infraestructura en el futuro. Cuando se trata del aspecto del medio ambiente, así como en los demás, es preciso saber imponer las ambiciones y renovaciones, desde la consulta con aquellos que actúan sobre el terreno. El interés general precisa también el respeto de los territorios locales. Participar – a su nivel – en la valorización de estos territorios constituye un motivo de satisfacción para todos cuantos se ocupan del medio ambiente, no sólo para RFF sino también para los proyectistas y ejecutantes de las empresas constructoras.

LGV Est européenne

Dans les articles qui suivent, les acteurs de la construction présentent quelques-uns des chantiers en cours sur chacun des tronçons de la LGV et sur le réseau existant à aménager. Ces articles illustrent bien la nature et l'avancement des ouvrages à réaliser. Ils illustrent aussi la mobilisation de tous, qui impressionne les nombreux visiteurs de ces chantiers.

Ils sont ainsi une manière de saluer le travail des hommes et des femmes qui font la LGV Est européenne, chez les maîtres d'œuvre, à la SNCF, dans les bureaux d'études, les entreprises et chez les fournisseurs.



Passage dans la trouée de Chaillon (55)
Passage through the Chaillon gap



Patrick Tranny
DIRECTEUR DES OPÉRATIONS
DE LA LGV EST EUROPÉENNE
Réseau ferré de France

Franchissement de la vallée
de la Moselle (57)
Passage through Moselle Valley



Le lot 13 : de la vallée à Château-Thierry

Le lot TOARC n° 13 (Terrassements, hydraulique, ouvrages d'art et rétablissements des voies de communication) est un lot d'environ 27 km qui s'étend sur 12 communes, deux départements (Seine-et-Marne et Aisne), et deux régions (Ile-de-France et Picardie).

Ce lot constitue la partie Est du premier tronçon, le tronçon A qui compte 64 km. Il est conçu par le groupement de maîtrise d'œuvre SNCF - Arcadis et est construit par le groupement d'entreprises DTP Terrassement mandataire. Le lot est coupé en deux, par l'autoroute A4, ce qui a imposé, pour les terrassements, une gestion séparée des deux secteurs. Il traverse des zones rurales essentiellement agricoles et quelques zones forestières. Dans ce secteur, aucune zone d'habitation n'est directement impactée par le tracé de la LGV et seule une ferme a dû être démolie après une acquisition amiable.

Ce lot comporte, également, la réalisation des travaux de génie civil de la future base superstructure d'Occquerre et de ses raccordements provisoires, qui permettront la mise en œuvre des équipements ferroviaires de la LGV. Pour la partie terrassements, le volume de déblais à réaliser est de l'ordre de 4,5 millions de m³ et le volume de remblais de l'ordre de 2,2 millions de m³.

Pour la partie ouvrages d'art, 23 ouvrages d'art courants (ponts-cadres et ponts à trois travées) sont à réaliser pour rétablir les voies de communication traditionnelles et les passages à grande faune (PGF). Quatre ouvrages d'art non courants ont été exécutés pour des franchissements particuliers : une tranchée couverte pour le rétablissement d'un PGF doublé d'une voirie communale, un viaduc pour le passage au-dessus de l'autoroute A4, un autre viaduc pour le passage au-dessus d'un ru doublé d'un PGF et enfin un pont route particulier pour la passage sous la RD1 à 4 voies.

Outre l'aspect technique spécifique de ces travaux, ce lot représente une masse de travaux importante à réaliser dans un délai global de 18 mois englobant deux périodes estivales. La réussite de ce projet n'a pu être possible que grâce à l'association des compétences du groupement d'entreprises et du maître d'œuvre de génie civil dans une synergie volontaire de partenariat. Cela a permis la mise en œuvre de méthodes constructives adaptées et a dynamisé la recherche permanente d'optimisations.

LA GÉOLOGIE ET LA GÉOTECHNIQUE

Ce secteur de la ligne offre une géologie diversifiée, représentative des formations tertiaires de l'est du Bassin Parisien, constituées d'un empilement tabulaire de terrains souvent meubles, parfois rocheux. Les couches les plus dures ont modelé le paysage formant une sorte d'ossature résistante, l'ensemble étant généralement recouvert par les limons des plateaux.

Cette série a été localement entaillée par les cours d'eau, orientés selon un alignement ONO-ESE assez bien respecté, laissant place aujourd'hui à une succession de vallées et de buttes témoins qui seules conservent plus ou moins intactes la stratigraphie originelle.

Cette morphologie est localement affectée par des phénomènes naturels ou anthropiques, liés à la nature de certains matériaux :

- ◆ anciennes exploitations superficielles de matériaux ;
- ◆ traces d'effondrement d'anciennes carrières souterraines de gypse ;
- ◆ dissolution naturelle du gypse.

La géologie

Les formations géologiques présentes sont d'âge paléogène. Les plus profondes, jusqu'aux sables de Beauchamp, sont essentiellement atteintes au début du lot 13 sur environ trois kilomètres. Au-delà, l'ensemble des autres formations est recouvert suivant le profil en long de la ligne au niveau

des différentes buttes, avec toutefois une prédominance des marno-calcaires de Saint-Ouen jusqu'à la traversée de l'autoroute A4 et des formations supérieures de faciès plus argileux après le viaduc de l'Orxois sur cette autoroute (masse et marnes du gypse et marnes supragypseuses).

On distingue, de la plus ancienne à la plus récente :

- ◆ sables de Cuise ;
- ◆ calcaires grossiers ;
- ◆ marnes et caillasses ;
- ◆ sables de Beauchamp ;
- ◆ calcaires de Saint-Ouen ;
- ◆ masses et marnes du gypse
- ◆ marnes supragypseuses ;
- ◆ argiles vertes ;
- ◆ argiles à meulières ;
- ◆ limons des plateaux.

La géotechnique

Caractéristiques mécaniques

Une analyse des caractéristiques géomécaniques des matériaux en place, nécessaires au dimensionnement des ouvrages en terre, a été menée à partir des résultats des essais triaxiaux Cu + u réalisés au cours des différentes phases de sondages. Elle s'appuie sur les diagrammes de Lambe qui concernent les valeurs de cohésion à long terme et l'angle de frottement interne. Une droite de régression permet d'obtenir les valeurs moyennes et un fuseau, les valeurs extrêmes.

Le tableau I donne quelques-uns de ces résultats à titre d'exemple.

Ces caractéristiques ont été adaptées à la réalité

Tableau I
Table I

| Formations géologiques | Cohésion c' (kPa) | | | Angle de frottement interne φ' (degré) | | |
|---|-------------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|
| | Valeur moyenne | Valeur minimale | Valeur maximale | Valeur moyenne | Valeur minimale | Valeur maximale |
| Limons des plateaux γ = 20.0 kN/m ³ | 17.5 | 10.0 | 22.2 | 27.0 | 18.5 | 35.7 |
| Argiles à meulières γ = 21.0 kN/m ³ | 22.5 | 10.0 | 22.6 | 23.0 | 20.0 | 31.4 |
| Argiles vertes γ = 19.2 kN/m ³ | 16.0 | 10.0 | 18.5 | 19.0 | 13.6 | 25.8 |
| Marnes supragypseuses γ = 19.3 kN/m ³ | 23.0 | 13.7 | 25.0 | 22.0 | 18.0 | 28.0 |
| Masses et Marnes du gypse γ = 19.0 kN/m ³ | 20.5 | 13.3 | 28.5 | 28.0 | 20.5 | 29.0 |
| Sables de Beauchamp γ = 20.4 kN/m ³ | 1.0 | 0.0 | 1.3 | 33.9 | 30.3 | 38.3 |

de l'Ourcq

locale des couches rencontrées dans chaque déblai qui constituent autant de cas particuliers à traiter en tenant compte de son contexte.

Extraction et réutilisation des matériaux

Les matériaux rencontrés sur le lot 13 sont essentiellement meubles (colluvions, limons des plateaux, argiles à meulière, argiles vertes, marnes supragypseuses et masses et marnes du gypse). Ils peuvent donc être terrassés à l'aide d'engins à lame, voire avec un ripage préalable pour certains (marnes et caillasses, calcaires grossiers, calcaires de Saint-Ouen).

Localement, certains matériaux ont nécessité l'emploi de brise-roche. Il s'agit d'une fraction des marnes et caillasses, présentant un banc de calcaire massif épais de 1,70 à 1,90 m, ainsi que les calcaires grossiers. Cependant, la partie supérieure altérée de ces derniers, constituant la majorité de cette formation à extraire, peut être travaillée à l'aide d'engins à lame.

La réutilisation de ces matériaux en corps de remblai est conditionnée par les prescriptions du guide pour les terrassements routiers (GTR). Elle est étroitement liée aux conditions hydriques de par l'importance de la fraction fine de ces matériaux.

Mouvement des terres

Le mouvement des terres a été réalisé après un calage optimal du profil en long du projet, de façon à rechercher le meilleur compromis entre les contraintes géométriques et environnementales d'insertion d'une ligne à grande vitesse et la nécessité d'optimiser les terrassements et la réutilisation des matériaux, tout en cherchant à limiter au maximum les mises en dépôt.

Les matériaux sont globalement de meilleure qualité à l'ouest du lot 13 (calcaires du Lutétien et de Saint-Ouen, sables de Beauchamp), et plus médiocres à l'est (argiles vertes et marnes supragypseuses). De par la présence d'une séparation physique matérialisée par l'autoroute A4, le mouvement de terre global du lot est très déséquilibré en quantité et qualité :

◆ il se révèle plus simple et plus équilibré à l'ouest, la butte des Champarts permettant l'exploitation d'un volume important de matériaux de qualité satisfaisante irriguant le chantier jusqu'à l'autoroute A4 ;

◆ à l'est, ce sont essentiellement les limons des plateaux et les argiles à meulière extraits des différents déblais ou à l'aplomb de futurs dépôts qui participeront à la réalisation des corps de rem-

blai et merlons. Cependant, cette réutilisation est conditionnée par l'état hydrique à l'extraction, d'où la nécessité de traitement à la chaux dans la majeure partie des cas ;

◆ les formations gypseuses (marnes supragypseuses, masses et marnes du gypse) ainsi que les argiles vertes, ne satisfaisant pas aux conditions de mise en œuvre en remblai, ont nécessité la réalisation de nombreux dépôts.

L'hydrogéologie

Le contexte géologique du lot 13 induit la superposition de plusieurs systèmes aquifères dans les différentes formations en fonction de la perméabilité relative des terrains :

◆ la nappe alluvionnaire de l'Ourcq, sur le lot 19 et en contrebas de la base superstructure d'Occerre ;

Michel Le Goazigo



CHEF DU CENTRE
OPÉRATIONNEL
DE VAIRES-SUR-MARNE
Ingénierie SNCF - MOEGC
Groupement SNCF - Arcadis

Philippe Bouquet



CHARGÉ DE TRAVAUX
Ingénierie SNCF
MOEGC Groupement SNCF -
Arcadis

Delphine Hun



RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT DU
CENTRE OPÉRATIONNEL
DE VAIRES-SUR-MARNE
Ingénierie SNCF - MOEGC
Groupement SNCF - Arcadis

Roger Dunand



DIRECTEUR DE TRAVAUX
Entreprise DTP

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TRONÇON A

Localisation

Premier tronçon de la ligne à grande vitesse, le tronçon A s'étend sur 63 km entre Pomponne en Seine-et-Marne (77) et Verdilly dans l'Aisne (02).

Il est décomposé en six lots de travaux, de l'ouest vers l'est :

- lot 11A : 2 km à dominance ouvrage d'art ; marché de 24 M€ attribué à Eiffage TP (mandataire), Fougerolle Ballot et Roland (cotraitants)

- lot 11B : 6 km à dominance terrassement ; marché de 50,3 M€ attribué à Roger Martin (mandataire), Charrier TP, Berthouly Travaux Publics, Semen TP, Rabot Dutilleul Travaux Publics, SNCTP, Chagnaud (cotraitants)

- lot 18 : à dominance ouvrage d'art ; marché de 64 M€ attribué à Eiffage TP (mandataire), Fougerolle Ballot, Appia Est Ile-de-France, Eiffel, Roland, SGTN (cotraitants)

- lot 12 : 24 km à dominance terrassement ; marché de 80,5 M€ attribué à Deschiron (mandataire), GTM Terrassements, GTM génie civil, Chantiers Modernes, Campenon Bernard, Les Composants Précontraints, Weller, Eurovia (cotraitants)

- lot 19 : 1 km à dominance ouvrage d'art ; marché de 19,5 M€ attribué à Bouygues TP (mandataire), DTP Terrassements, Norpac, Pertuy Construction, Screg Ile-de-France - Normandie, Baudin Chateaufeu (cotraitants)

- lot 13 : 27 km à dominance terrassement ; marché de 82,5 M€ attribué à DTP Terrassement (mandataire), Razel, Bouygues TP, Construzioni Cimolai Armando, Intrafor, Norpac, Pertuy Construction, Screg Ile-de-France - Normandie, Vallet Saun AL, Colas Est, Colas Ile-de-France - Normandie (cotraitants)

Quelques chiffres

- 83 ouvrages dont :
 - 35 ponts rails
 - 34 ponts route
 - 14 ouvrages non courants
- 167 000 m³ de béton
- 12,7 millions de m³ de déblai
- 5,8 millions de m³ de remblai (masques compris)
- 606 000 m² de couche de forme
- 195 000 m² de sous-couche
- Montant global des six marchés de travaux = 320,76 M€

Base d'équipements
ferroviaires d'Ocquerre

Ocquerre rail
equipment base



- ▶ ◆ des nappes superficielles localisées, plus ou moins temporaires, conditionnées par la présence de substrats imperméables, notamment dans les limons, les argiles à meulière et les colluvions. Leur importance est fortement conditionnée par la pluviométrie ;

LE DGGH (DOSSIER GÉOLOGIQUE, GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE)

L'objet de ce document est de présenter l'ensemble des connaissances géologiques, géotechniques et hydrogéologiques qui ont été acquises aux différentes étapes de l'étude du projet. Il attire l'attention des entrepreneurs en particulier sur les risques géologiques, géotechniques et hydrogéologiques.

Ce dossier comprend trois cahiers :

- le cahier A qui présente le lot, est un recueil de données réelles à travers notamment les rapports de reconnaissances de sols, loi sur l'eau... ;

- le cahier B constitue le mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique proprement dit, établi par le MOE (maître d'œuvre) ;

- le cahier C expose à titre d'information, les méthodes constructives proposées par le MOE pour l'exécution des travaux qui ont permis d'établir le détail estimatif.

Sont annexés au cahier A toutes les coupes de sondages, résultats d'essais, rapports des entreprises de reconnaissances de sols, fiches LCPC... Le cahier B donne les caractéristiques qui résultent de l'interprétation des don-

nées en indiquant les valeurs moyennes et la dispersion. Il précise la fiabilité des paramètres et le nombre d'essais. Au cahier C sont annexés les maquettes géotechniques du lot, le mouvement des terres proposé par le MOE...

Le MOE n'a retenu parmi les données brutes que celles utilisées pour son interprétation après les avoir confrontées les unes avec les autres. Par ailleurs, il a exposé toutes les connaissances qu'il a acquises sur le terrain, y compris les facteurs d'incertitudes. Pour les données, il a fourni la valeur moyenne et les caractéristiques de dispersion, pour la réalisation il a proposé notamment une répartition spatiale des matériaux et le type de fondations des ouvrages d'art.

Dans le cadre du marché, le cahier A n'est pas contractualisé. Le cahier B et le cahier C, qui peuvent être modifiés dans le cadre de la mise au point du marché avec l'entrepreneur, et les méthodes constructives justifiées constituent des pièces contractuelles du marché.

- ◆ la présence de circulations d'eau erratiques dans les parties superficielles altérées des argiles vertes et des marnes supragypseuses, notamment dans les marnes de Pantin ;

- ◆ des aquifères plus profonds au niveau des calcaires de Saint-Ouen et des sables de Beauchamp ;

- ◆ en profondeur les réservoirs puissants exploités des marnes et caillasses, calcaires grossiers et sables de Cuise (captages AEP à Ocquerre et Germigny-sous-Coulombs).

Le risque cavité

Sur le lot 13, l'ensemble des reconnaissances spécifiques effectuées au niveau des formations gypseuses n'a pas permis de mettre en évidence de vides francs résultant de la présence de cavités. Cependant, en raison d'une part des indices relevés sur le terrain (topographie tourmentée, fortes dépressions...) ou en sondage (passage de gypse altéré...), un certain nombre de dispositions ont été prises pendant la phase travaux :

- ◆ poursuite de l'analyse du risque au moment des terrassements pour en affiner l'appréciation, en particulier en systématisant l'examen des fouilles sur l'ensemble des zones concernées au moment des terrassements, notamment au niveau de l'arasement des déblais et après décapage en remblai. Au cas où des indices étaient découverts, des dispositions complémentaires devaient alors être prises (reconnaitances par sondages, traitements à l'avancement) ;

- ◆ non création de conditions qui pourraient conduire à une altération du gypse par protection des bancs gypseux vis-à-vis des eaux recueillies par le projet en maintenant une protection au moins équivalente à la protection naturelle qui a assuré la conservation du gypse. Ceci conduit à considérer que ce niveau de protection est atteint lorsque le gypse est surmonté par un minimum de 10 m de marnes supragypseuses une fois les terrassements réalisés. Lorsque cette condition n'est pas remplie dans les zones où il subsiste du gypse à l'aplomb du tracé, les fossés où se concentrent l'eau sont revêtus. En outre, en déblai, la plate-forme est imperméabilisée par une membrane étanche.

Trois secteurs ont été considérés comme devant faire l'objet d'une imperméabilisation par une membrane étanche :

- ◆ secteur Heurtebise : 400 ml ;

- ◆ secteur déblais Muid : 740 ml ;

- ◆ secteur déblais Sacerie : soit 360 ml.

Au total, environ 1 500 ml sont imperméabilisés.

Sur le lot 13, les compléments d'investigation et les éventuels travaux de comblement ont été nécessaires au vu des reconnaissances dans deux zones :

- ◆ bois des Blanchettes sur un linéaire de 250 m environ ;

- ◆ bois des Rochets sur un linéaire d'environ 500 m.

Sur ces deux secteurs, une reconnaissance systématique préalable consistait en une série de forages avec enregistrement des paramètres, à raison du maillage suivant :

- ◆ un forage tous les 25 m² au droit de la plate-forme ;
- ◆ un forage tous les 50 m² sous les talus.

Ces forages ont été systématiquement équipés de tube PVC puis traités par un comblement par remplissage gravitaire des vides au moyen d'un mortier (ciment, sable) et complété par un clavage ciment.

Si les zones à risque cavité du lot 13 se situaient essentiellement dans les masses et marnes du gypse à l'est du lot, il a fallu aussi se méfier du calcaire grossier, plutôt présent à l'ouest, au sein duquel un indice a été relevé pendant les terrassements dans les premiers kilomètres du lot.

Ce calcaire assez fracturé a montré une légère karstification au niveau de certaines fissures et présenté un soutirage de niveaux sableux plus fins. Les dispositions déjà prises dans les secteurs gypseux ont donc été appliquées ici en cours de chantier pour remédier définitivement à ce problème (reconnaissance géophysique, sondages, traitement par injection, imperméabilisation des drainages et de la plate-forme).

■ LES TERRASSEMENTS

La consistance

Les terrassements sont constitués par 50 grands ouvrages en terre "déblais et remblais" de 5 à 600 ml de longueur moyenne qui permettent la réalisation de 27 km de plates-formes ferroviaires entre Ocquerre et Verdilly.

Parmi les grands déblais, la butte des Champarts (L = 1,5 km · H = 20 ml · Volume = 1 000 000 m³) à l'origine du lot, et le plateau du Lauconnois à l'autre extrémité ont constitué pendant toute la durée des terrassements, les deux pôles principaux d'extraction des matériaux.

A l'inverse, les grands remblais se situent plutôt dans les zones centrales du lot, tout d'abord avant le passage de la LGV au-dessus de l'autoroute A4 avec les remblais du bois de Triquenique et du Gobart (L = 2,5 km · H = 13 ml · Volume = 450 000 m³), mais aussi de part et d'autre du viaduc des Rochets avec ses deux remblais d'approche (L = 460 ml et 280 ml · H = 20 ml · Volume = 200 000 m³).

Les terrassements de la base travaux pour les équipements ferroviaires, située sur la commune d'Ocquerre, représentent 550 000 m³ sur 23 ha.

Le mouvement des terres

Le contexte géotechnique rencontré se traduit par un léger excédent de matériaux réutilisables à l'ouest



Franchissement de la RD 320 aux environs de Château-Thierry

County road RD 320 crossing in the vicinity of Château-Thierry

(15 000 m³) mais par un déficit notable à l'est de l'autoroute (475 000 m³).

L'autoroute A4 créant une indépendance totale entre les zones est et ouest, un apport de matériaux de 475 000 m³ s'est avéré indispensable pour réaliser l'ensemble des remblais et PST Est (PST = Partie supérieure des terrassements).

Sur la zone ouest, la voie ferrée Trilport-Reims constitue dans une première partie du délai, un second point de blocage des mouvements de terre vers le lot 19 déficitaire en matériaux.

Outre les 5 millions de m³ de décapage et déblais, le phasage des travaux a amené l'entreprise à reprendre 15 à 20 % de ces matériaux pour monter les remblais et végétaliser les talus.

Les mouvements de terre à courte distance ont permis de créer les premières levées de remblais et dégager ainsi l'accès aux ouvrages hydrauliques en fond de vallon, la faible portance des matériaux de surface imposant cette dernière disposition.

Les mouvements grande distance ont relayé les précédents une fois les ouvrages d'art "franchissables", pour descendre les dernières buttes (Champarts et Lauconnois) et combler les dernières brèches (Bois de Triquenique - Le Gobart - Les Rochets).

La préparation des dépôts définitifs et leur remise en état, ont demandé de déplacer et remettre en place plus de 1 000 000 m³ de terre végétale et horizon agricole utile.

Enfin, la reprise des matériaux nobles sur les stocks approvisionnés par le maître d'ouvrage (sur les sites de Quatre-Vents et de la Cense) représente 450 000 m³, pour la réalisation des masques sur talus et la constitution des structures d'assises.

Au total, 7,7 millions de m³ auront été "remués" par DTP Terrassement et Razel, en une saison et demi de terrassements, les cadences journalières avoisinant 50 000 m³/jour en pleine production.

Tranchée des Champarts
à Ocquerre : ouvrage
mixte agricole et passage
grande faune

*Champarts trench
at Ocquerre : combined
structure for agricultural
use and passage
of large game*



Organisation du chantier

Face aux trois zones de travaux "Base d'Ocquerre - Ouest A4 et Est A4", qui constituent en réalité trois grands chantiers de terrassements, l'entreprise a mis en place trois organisations totalement indépendantes, pour les terrassements comme d'ailleurs pour les travaux de l'hydraulique.

Chaque chantier a fonctionné sous la responsabilité des services communs (administratif, coordination "études et travaux", projet, méthodes, topographie, laboratoire, qualité, sécurité, environnement) mais a bénéficié d'une organisation propre pour l'encadrement des travaux proprement dit avec :

- ◆ pour les terrassements : un directeur de chantier adjoint, trois conducteurs de travaux, six chefs de chantier, 24 chefs d'équipe;

- ◆ pour l'hydraulique : un ingénieur travaux principal, trois chefs de chantier, trois chefs d'équipe.

Au total et compte tenu d'un travail à postes, plus de 425 personnes travailleront exclusivement pour les terrassements et l'hydraulique (60 pour l'encadrement du chantier, 280 conducteurs d'engins et camions, 60 terrassiers et 25 mécaniciens).

Concernant le matériel, à l'examen du planning général des travaux, avec un démarrage à mi-saison 2003, DTP Terrassement et Razel lancent pratiquement dans la foulée de ce démarrage, un travail à postes avec les échelons suivants :

- ◆ 3 échelons de bouteurs et décapeuses Cat D10 + Cat 631 ;

- ◆ 3 échelons de grosses pelles et tombereaux rigides Cat 375/385 + Cat 769 ;

- ◆ 3 échelons de pelles moyennes et tombereaux articulés Cat 350 + Volvo A 35/A 40 ;

- ◆ 5 échelons de petites pelles et dumpers articulés Cat 330 + Volvo A 25/A 30 ;

- ◆ puis deux échelons de pelles moyennes et semi-remorques Cat 350 + semi 25 t par la suite.

Au total un parc de matériel représentant 250 engins et 50 semi-remorques (75 000 CV mobilisés).

Les dispositifs de confortement

La sensibilité des matériaux recoupés par la ligne appelle une protection quasi totale de tous les talus de déblais, la stabilité propre de ceux-ci nécessitant également la mise en place de masques poids.

Dans le premier cas, les matériaux de protection viennent recouvrir les talus, par passage au bull-dumper et réglage à la pelle hydraulique, lorsque les déblais ont atteint leur cote de fond.

Dans le second cas, il s'agit d'ouvrages construits en parallèle de la descente des déblais, les risbermes dans les talus permettant alors l'approvisionnement des matériaux par tombereaux, avant mise en place au bouteur par couches compactées, et "recoupe" à la pelle hydraulique.

Les structures d'assises

Le niveau requis de portance pour les plates-formes au niveau de la couche de forme (CdF) ferroviaire (EV2 > 100 MPa à l'essai de plaques) a conduit l'entreprise à atteindre au niveau PST un module de déformation EV2 d'environ 60 MPa (épaisseur CdF = 50 cm) voire 70 MPa (épaisseur CdF = 35 cm). Cet objectif de portance "intermédiaire" demandera des dispositions systématiques au niveau de la constitution des PST, comme précisé dans le chapitre suivant.

S'agissant de la sous-couche (épaisseur = 20 cm) la difficulté réside dans la compacité à obtenir (100 % OPM après planche d'essai puis de référence) ; la maîtrise de la teneur en eau et l'homogénéisation du matériau constituant alors des facteurs de réussite.

La synchronisation des travaux d'hydraulique et des terrassements

Déjà signalé pour les 110 ouvrages hydrauliques en fond de vallon, à synchroniser avec les premières levées de remblais, les autres ouvrages hydrauliques, affectant principalement l'assainissement longitudinal, doivent se mettre "en phase" avec les terrassements compte tenu des considérations suivantes :

- ◆ réalisation des fossés de crête de déblais ou de pied de remblais, dès l'achèvement de la végétalisation des talus ;

- ◆ réalisation des fossés FBPB (fossés béton préfabriqué à barbacanes) ou FTR (fossés en terre revêtus) sur plates-formes "déblais" après un premier réglage des arases mais avant la mise en place de

la couche de forme compte tenu du trafic qu'ils occasionnent.

Cette synchronisation de l'avancement "hydraulique" avec les terrassements garde un caractère totalement indispensable eu égard à la sensibilité des déblais mais aussi vis-à-vis de l'arrivée d'eaux intempestives en talus.

Les aménagements paysagers

Le fait que la moitié des matériaux de déblais ne puissent alimenter les zones de remblais, 17 grands aménagements paysagers le long de la ligne LGV, représentant près de 2 400 000 m³, viendront remodeler le terrain naturel et dégager ainsi 75 ha de nouveaux espaces agricoles ou boisés.

Tous ces dépôts définitifs devront rester "ouverts" pendant toute la durée des travaux ; des matériaux non réutilisables découverts au début du chantier (humus forestier) jusqu'aux dernières fouilles (hydraulique) étant à même de les solliciter.

■ APPROCHE PARTENARIALE : SNCF - ARCADIS/DTP TERRASSEMENT - RAZEL

Aux caractéristiques évoquées ci-dessus, s'ajoutent quelques difficultés particulières représentées par :

- ◆ l'achèvement des ouvrages en période automnale voire hivernale, difficile vis-à-vis de la qualité et de la complexité des plates-formes ferroviaires à construire ;

- ◆ l'emprunt de voiries locales parfois contesté.

Voilà différentes difficultés, identifiant le challenge du maître d'œuvre et de l'entreprise pendant 21 mois, et justifiant les grandes lignes de leur approche "partenariale".

Le maître d'œuvre et l'entreprise ont proposé, étudié et mis au point après accord du maître d'ouvrage, différentes dispositions à même de limiter le caractère fortement critique des terrassements.

Recherche mutuelle d'aménagements paysagers

Au niveau de la mise au point du marché, l'entreprise a pris en charge une partie de la recherche des dépôts définitifs (800 000 m³ soit 1/3 de la capacité totale des dépôts).

Réutilisation maximale des matériaux de déblais

Au cours de l'extraction des déblais, l'entreprise a recherché le maximum de réutilisation des matériaux, avec traitements à la chaux supplémentaires, dans la masse ou en arases. Le pourcentage de réutilisation a ainsi évolué pour les limons de 75 %



Franchissement
de la RD1
à Château-Thierry

Crossing
of county road RD1
at Château-Thierry

de niveau prévisible à 100 % en fin de chantier et généré de ce fait 155 000 m³ de matériaux réutilisables.

Substitution de matériaux sous de futurs dépôts

L'entreprise a proposé en cours de chantier l'ouverture de huit emprunts-dépôts de substitution représentant 475 000 m³ de matériaux (soit 55 % des remblais de la zone Est).

Ouverture de la base d'Ocquerre sur le lot 19

Face à la demande de matériaux du lot 19, et aux difficultés de franchissement de la voie ferrée Trilport-Reims, l'ouverture des mouvements de terre de la base d'Ocquerre a permis d'alimenter les remblais du viaduc de l'Ourcq, en attendant le relais de la trace du lot 13.

Encagement des sables de Beauchamp

Les caractéristiques intrinsèques du sable de Beauchamp (matériau pulvérulent) ne lui autorisent aucune traficabilité sans apport conséquent d'eau, ni aucune tenue à l'érosion sans protection. En collaboration avec le maître d'œuvre, l'entreprise a défini un profil en travers de remblai, avec noyau en sable et "enveloppe" en calcaire de Saint-Ouen. Cette disposition constructive projetée dans le remblai de Gobart (ouest A4) puis élargie sur les remblais "sud" de la base d'Ocquerre, a permis de réutiliser 125 000 m³ de sable, et évité leur mise en dépôt définitif.

A noter que ce dernier volume intègre également des sables de Beauchamp venus se substituer dans

► le remblai de la fouille de la culée C8 du viaduc de l'Ourcq, sur proposition "variante" de l'entreprise.

Rééquilibrage et optimisation du mouvement des terres

Les deux dispositions précédentes, prises à l'est comme à l'ouest, ont permis :

- ◆ de rééquilibrer le mouvement des terres à l'est, aucun apport extérieur y compris pour les remblais Rt2 initialement nécessaires n'étant alors entrepris ;
- ◆ de valoriser les matériaux excédentaires de la zone ouest, aucun dépôt supplémentaire notamment pour les sables de Beauchamp n'étant alors recherché.

LA MAÎTRISE D'ŒUVRE SNCF/ARCADIS

Son organisation fonctionne de la conception jusqu'à la fin de la réalisation avec des "Hommes de projet". Elle se partage entre :

- une direction fonctionnelle avec un gestionnaire du projet et un gestionnaire technique de l'ouvrage,
- des centres d'activités composés du plateau technique, et des centres opérationnels.

La direction de la maîtrise d'œuvre génie civil met en place un système qualité dont les objectifs et enjeux sont :

- la réussite du projet et des contrats de maîtrise d'œuvre du génie civil dans les délais et les coûts,
- la conception et le suivi de la réalisation des ouvrages répondant aux attentes exprimées par le maître d'ouvrage et de l'exploitant des lignes ferroviaires et des gares,
- la maîtrise des circuits de communication et d'échanges entre les différents acteurs,
- la compréhension mutuelle du rôle de chacun dans l'organisation générale basée sur une politique volontariste, d'étroite collaboration et de réelle solidarité des "Hommes de projet".

Les contrats

Les prestations se décomposent en :

- une tranche ferme comprenant les éléments de mission de maîtrise d'œuvre APD et PRO sur les tronçons A, D, F et APD pour le tronçon G, ainsi que les prestations complémentaires d'accompagnement du maître d'ouvrage s'y rapportant,

complémentaires d'accompagnement du maître d'ouvrage s'y rapportant,

- une tranche optionnelle comprenant les autres éléments de mission de maîtrise d'œuvre de la phase réalisation, sur les tronçons A, D et F ainsi que les prestations complémentaires d'accompagnement du maître d'ouvrage s'y rapportant,
- une prestation sous-traitée par Sceaurooute concernant la conception et la réalisation du lot 39 qui franchit la vallée de la Moselle.

Les engagements

Engagement du directeur de projet
"Pour permettre la réussite de la mission confiée par RFF, la direction associe les compétences techniques à une organisation claire, réactive et dotée d'outils et de techniques de gestion modernes.

C'est ainsi que le défi a été relevé, en apportant à RFF réactivité et efficacité dans le respect des clauses contractuelles et la garantie de la qualité de l'ouvrage".

Déclaration d'engagement des chefs de centre opérationnel

"Les objectifs répondent à la nécessité de réussir, en se donnant :

- les moyens de remplir les missions de management et de coordination du projet,
- les moyens d'une pleine responsabilité pour satisfaire les besoins du maître d'ouvrage par une réelle implication de chacun dans la réalisation du projet".

Le rééquilibrage des mouvements de terre, sans apport de matériaux extérieurs a largement guidé l'approche "terrassements" de l'entreprise, d'ailleurs totalement suivie par le maître d'œuvre. Cette approche "aucun apport de carrières" a retrouvé un prolongement significatif sur le lot 19, se concrétisant par :

- ◆ des apports de matériaux depuis le lot 13 avec la base d'Ocquerre en relais, pour les remblais Est du viaduc ;
- ◆ des variantes "bases de remblai" avec encagement de sables de Beauchamp, évitant l'apport important de matériaux ZI ;
- ◆ des déblais utiles réalisés sur le lot 12 pour les remblais ouest du viaduc.

Globalement, par le biais de cette approche, les nuisances du "roulage" de 655 000 m³ de matériaux ont épargné les voiries locales et les riverains. L'entreprise a étudié en collaboration avec le maître d'œuvre, la possibilité de rehausser le niveau des plates-formes de la base travaux d'Ocquerre de 75 cm pour la majorité d'entre elles. La solution variante présentée au maître d'ouvrage fait apparaître une économie globale de mouvements de terre de 345 000 m³, étant entendu que cet écart intègre les reprises à terme pour remise en état de la base.

Optimisation des PST et des structures d'assises

Les dispositions marché des structures d'assises prévoyaient, en déblais :

- ◆ PST : matériaux Rt1, soit limon traité en place ou rapporté d'épaisseur 0,70 ml + 0,30 ml non traité si gypse ;
- ◆ CdF : épaisseur 0,50 ml.

En remblais :

- ◆ PST = matériaux Rt2, soit calcaire de Saint-Ouen, marnes et caillasses d'épaisseur 1,00 ml ;
- ◆ CdF : épaisseur 0,35 ml.

Or, l'entreprise a proposé et défini avec le maître d'œuvre, les structures d'assises suivantes. A l'ouest :

- ◆ PST : matériaux Rt2, soit calcaires de Saint-Ouen, marnes et caillasses d'épaisseur 1,00 ml ;
- ◆ CdF : épaisseur 0,35 ml.

A l'Est :

- ◆ PST : matériaux Rt1, soit limon traité en place ou rapporté d'épaisseur 0,70 ml + 0,30 ml non traité si gypse ;
- ◆ CdF : épaisseur 0,50 ml.

Cette solution présente les avantages suivants :

- standardisation des PST et CdF sur chaque zone, les passages à "O" sur un TN relativement peu "vallonné", nécessitant des "sifflets" très longs dans les couches de forme ;
- évitement d'apports extérieurs de matériaux Rt2 à l'Est, où le calcaire de Saint-Ouen avait d'ailleurs disparu ;
- économie sur le volume global de couche de forme.

Adaptation des masques de protection des talus

Les visites mutuelles du site "Maître d'œuvre - Entreprise" avec inspection des talus, ont permis de limiter au minimum les quantités d'apport de matériaux de masques.

Une telle volonté s'est d'ailleurs soldée par différentes fiches d'adaptations définissant une géométrie "très adaptée" des masques de protection.

Allègement des réaménagements du type forestier

Sur deux dépôts prévus "agricoles" et finalement "boisés", le maître d'œuvre et l'entreprise ont finalement convenu, d'alléger la remise en place de l'humus forestier.

L'économie de mouvement qui en résulte (45000 m³), n'affecte aucunement la possibilité de reconstitution d'un espace boisé.

Remplacement de la grave 0/315 en couche de forme de voirie latérale (VLT) par des limons traités

La dernière disposition concerne les couches de forme de VLT prévues en grave 0/315 (épaisseur 0,35 ml), que l'entreprise a proposé au maître d'œuvre en matériaux limoneux traités en place, la surface intéressée représentant 20000 m².

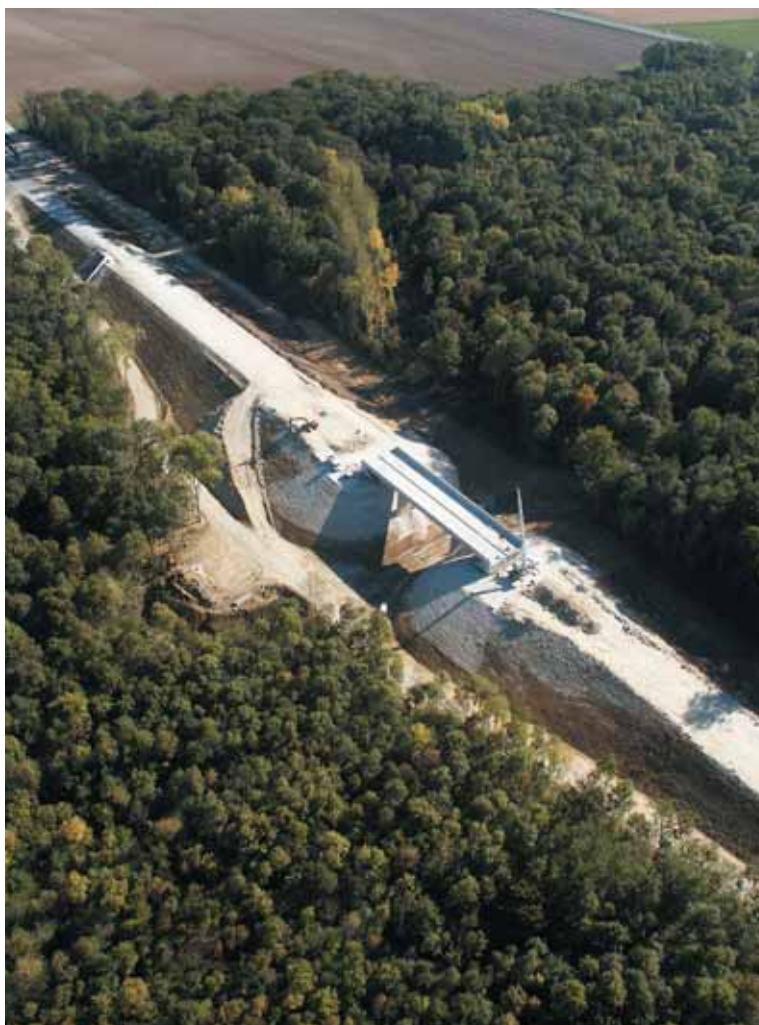
Ainsi l'approche partenariale "SNCF Arcadis/DTP Terrassement - Razel" a permis de mieux appréhender les difficultés du chantier et de leur apporter les solutions "optimales"; la qualité des ouvrages demeurant une priorité.

■ LES OUVRAGES D'ART

La consistance

Vingt-sept ouvrages d'art ont rétabli les communications les plus diverses "à travers" la ligne LGV. Indépendamment de 23 rétablissements courants (routes, chemins, rus et grande faune), le passage sur la voie ferrée Trilport-Reims à l'origine du lot, le franchissement de l'autoroute A4 puis du valon des Rochets, et enfin l'arrivée sous la RD1 (2 x 2 voies) à Château-Thierry, constituent autant de points singuliers sur le tracé du lot 13.

Un directeur de chantier ouvrages d'art, trois conducteurs de travaux, 16 chefs de chantier et chefs d'équipe ont encadré cette activité génie civil pendant 21 mois; 140 coffreurs et ferrailleurs étant dénombrés au pic de l'activité "ouvrages d'art" au printemps 2003.



Ouvrage du bois de Triquenique (passage grande faune)

Triquenique Wood structure (underpass for large game)

La voûte préfabriquée sous la butte des Champarts

La LGV traversera en partie la butte des Champarts dans un ouvrage voûté de 100 ml de longueur. La circulation locale (VC 10) passant "par-dessus", comme d'ailleurs la grande faune des Champarts. Il s'agit là d'une "première" sur la ligne LGV : une voûte préfabriquée de 15 ml d'ouverture et 100 m² de section, composée de trois éléments : deux piédroits et une clef de voûte.

Ces éléments préfabriqués dans l'usine Matière d'Arpajon-sur-Cère sont livrés sur le chantier par camions et nécessitent alors la mobilisation d'une grue automotrice (80 t) pour la construction des différents anneaux juxtaposés par longueur de 2,40 ml, avec joints secs.

La particularité de cet ouvrage repose bien sûr sur la rapidité de sa construction propre mais nécessite par contre un bloc technique aux caractéristiques mécaniques élevées (EV2 du remblai > 80 MPa); ce dernier participant à la stabilité globale de l'ouvrage.

A noter, quatre étapes de vérification du comportement géométrique de la voûte au cours de la montée des remblais par couches de 20 cm.

Viaduc des Rochets :
ru et passage
grande
faune

Les Rochets viaduct :
brook and underpass
for large game



vince puis Province-Paris. Quant au bétonnage, l'entreprise l'a réalisé en quatre plots par pompage, protégé de l'autoroute par les deux poutres latérales du viaduc.

L'étanchéité de la dalle a été réalisée au mois de décembre 2003, à l'abri d'une couverture provisoire permettant de s'affranchir des intempéries.

L'ouvrage à structure mixte bipoutres pour franchir le vallon des Rochets

Cet ouvrage de 100 ml de longueur comporte deux travées de rive de 30 ml et une travée centrale de 40 ml de longueur. Les culées sont fondées sur des pieux réalisés par "louvoyage" à travers les blocs techniques préalablement montés, les deux piles étant fondées sur un béton de blocage permettant d'atteindre le bon sol.

Le tablier constitué d'un bipoutre avec hourdis inférieur sur "talons" et hourdis supérieur en encorbellement représente 300 t de charpente.

Le poussage de celle-ci avec le hourdis inférieur et les prédalles du hourdis supérieur posés, s'est effectué en une seule phase. Quant au bétonnage, l'entreprise l'a réalisé en 13 plots par pompage à l'aide d'un équipage mobile permettant de réaliser des plots de 10 ml de longueur.

Le portique béton armé construit au cœur de la circulation déviée du RD1

L'entreprise a réalisé ce dernier ouvrage du lot 13 à l'intérieur d'une fouille talutée de 12 m de profondeur ; seul le bétonnage des semelles demandant un blindage spécifique est réalisé par plaques béton armé.

Préalablement au terrassement de cette préfouille de 45 000 m³, la circulation du RD1 a été déviée avec un sens de circulation de part et d'autre, le chantier de génie civil devant ensuite s'inscrire à l'intérieur de ces deux bretelles de déviation.

Une grue à tour de 60 ml de flèche a assuré toutes les manutentions après avoir été assise sur quatre blocs béton régnant sur toute la profondeur de la fouille sur 12 ml.

■ L'ENVIRONNEMENT

Le tracé du lot 13 s'intègre dans un environnement constitué de parcelles cultivées mais traverse également de nombreux boisements dans le département de l'Aisne. Ces bois abritent tous de nombreuses espèces d'oiseaux, tels l'effraie des clochers, la buse variable ou le pic épeiche, et sont également fréquentés par une faune sauvage riche et dense (cerfs, chevreuils, sangliers...). Le bois de Triquenique, particulièrement préservé, est clas-

Viaduc de l'Orxois.
Franchissement
de l'A4

Orxois viaduct.
A4 crossing



L'ouvrage à structure mixte "poutres latérales" poussé au-dessus de l'A4

Cet ouvrage cinq travées de 165 ml de longueur, fondé sur barrettes a permis de franchir l'autoroute A4 avec un biais de 26 grades. Sa construction a nécessité dans un premier temps, la neutralisation des bandes d'arrêt d'urgence pour la construction des piles extérieures à l'autoroute et des culées, puis l'écartement des chaussées pour dégager la plate-forme de réalisation des piles centrales dans le terre-plein central.

Le tablier RaPL, constitué de deux poutres latérales métalliques de 160 ml de longueur à inertie variable et d'une dalle à poutrelles enrobées représente 1 100 t de charpente métallique.

Le poussage de cette charpente avec le coffrage perdu du hourdis posé, s'est effectué en deux phases correspondant successivement à la neutralisation de la circulation A4 sur le sens Paris-Pro-

sé en ZNIEFF (zone naturelle, d'intérêt écologique faunistique et floristique). Ce bois abrite une avifaune très riche : plus de 60 espèces d'oiseaux ont été recensées, dont l'autour des palombes, la bécasse des bois, le pic épeichette ou la chouette chevêche, espèces rares en Picardie. De plus, les deux cours d'eau qui traversent le bois de Triquenique, ru de Cormont et ru du Fond Millon, sont bordés d'aspidium lobé, fougère remarquable et rare dans cette région.

De par la forte densité de la faune sauvage sur le lot 13, six grands axes de déplacements de la faune sauvage ont été recensés et ils sont rétablis par six passages grande faune (PGF). Certains, comme le PGF du bois de Triquenique ou celui du viaduc des Rochets assurent également le rétablissement de petits cours d'eau.

Il convient également de souligner que, sur le lot 13, des mesures compensatoires ont été réalisées avant travaux. La mare du ru Gobart, sous le tracé de la LGV Est, servait de lieu de reproduction à plusieurs espèces de tritons : tritons crêtés, tritons alpestres, tritons palmés, tritons ponctués, tous protégés.

Avant les travaux et ce, afin de préserver les batraciens, cette mare a été recréée, à proximité du tracé et les tritons présents dans la mare du ru Gobart ont été déplacés dans le milieu nouvellement créé.

ABSTRACT

Work section 13 : from the Ourcq Valley to Château-Thierry

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun, R. Dunand

The work section for project phase 13 (earthworks, hydraulic engineering, tunnels and bridges and restoration of communications) covers about 27 km extending over 12 "communes", two departments (Seine-et-Marne and Aisne), and two regions (Ile-de-France and Picardy).

This work section constitutes the eastern part of the first section, section A covering 64 km. The design work is performed by the SNCF-Arcadis project management consortium and construction is performed by the consortium led by DTP Terrassement.

The work section is divided in two by the A4 motorway, and for the earthworks this required separate management of the two sectors.

This work section also includes the performance of civil engineering work on the future Ocquerre rail construction work base and its temporary links, which will enable implementation of the railway equipment for the High-Speed Train Line.

As regards earthworks, the volume of earth cuts to be executed is approximately 4.5 million cu. m and the volume of backfill is approximately 2.2 million cu. m.

For the structural engineering part, 23 standard engineering structures are to be built. Four non-standard engineering structures have been executed for special crossings.

This work section is to be executed within a total period of 18 months, including two summer seasons.

RESUMEN ESPAÑOL

El lote 13 : desde el valle del Ourcq hasta Château-Thierry

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun y R. Dunand

El lote TOARC nº 13 (movimientos de tierras, hidráulica, obras estructurales y restablecimientos de las vías de comunicación), constituye un lote de unos 27 km que se extiende sobre 12 municipios, dos departamentos (Seine-et-

Marne y Aisne), y dos regiones (Ile-de-France y Picardía).

Este lote constituye la parte Este del primer tramo, o sea, el tramo A que representa 64 km y está proyectado por el grupo de proyecto de las obras SNCF - Arcadis que, a su vez, está constituido por la agrupación de empresas constructoras DTP Terrassement como apoderado.

Este lote está dividido en dos, por la autopista A4, lo cual ha precisado, en cuanto a los movimientos de tierras, una gestión separada de ambos sectores.

Asimismo, este lote consta de la ejecución de las obras de ingeniería civil de la futura base de superestructura de Ocquerre y de sus empalmes provisionales, que permitirán el empleo de los equipos ferroviarios de la LAV.

Para los movimientos de tierras, el volumen de materiales extraídos se eleva a unos 4,5 millones de m³ y el volumen del terraplenado a unos 2,3 millones de m³.

Para la parte de obras estructurales, esto representa 23 puentes y estructuras de franqueo que se han de construir. De éstos, cuatro estructuras no corrientes se han ejecutado para franqueos particulares.

Este lote se habrá de ejecutar en un plazo global de 18 meses, que incluye dos periodos estivales.

Le viaduc de l'Ourcq : une nouvelle contractua

Le lot n° 19, long de 750 m, est situé en Seine-et-Marne, à peu près au centre du tronçon A. Il est conçu par le groupement de maîtrise d'œuvre SNCF - Arcadis et construit par le groupement d'entreprises Bouygues TP mandataire. Ce lot est composé du viaduc de l'Ourcq et de ses remblais contigus associés.

Le viaduc de l'Ourcq, long de 450 m, permet le franchissement de la vallée de l'Ourcq, zone humide protégée classée en ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique). A plus de 30 m de hauteur, le viaduc surplombe cette vallée qui comprend la rivière Ourcq et ses deux bras morts, ainsi que le canal de l'Ourcq qui scinde le chantier en deux parties en raison de l'interdiction de son survol par des charges en phase travaux.

L'ouvrage repose sur neuf appuis, sept piles intermédiaires (numérotées d'ouest en est de P1 à P7) et deux culées d'accès (C0 à l'ouest et C8 à l'est), soit huit travées continues dont les longueurs sont respectivement de 60 m entre piles et de 45 m entre piles et culées. Avec une déclivité de 35 ‰ sur un tiers de sa longueur, il est l'un des viaducs les plus pentus de la LGV Est européenne.



Vue depuis la culée ouest - Construction des piles et début du lancement

View from the western abutment - Construction of the piers and start of launching

LE VIADUC

L'architecture

Le canal de l'Ourcq, qui relie Paris et son bassin de la Villette à la Ferté Millon, arrive sur le site qui nous occupe dans un secteur proche de trois départements : l'Oise, l'Aisne et la Seine et Marne. La sensibilité de cette section paysagère se perçoit dès l'approche par la qualité des constructions architecturales et leur insertion dans les communes blotties dans les courbes de la rivière, entre bosquets et masses végétales plantées. Par contraste, le canal qui a sa géométrie linéaire, bordé de peupliers bien verticaux, avec un tracé formé de grands rayons, son chemin de halage parallèle au canal circulé, en particulier par des cycles, présente un complément tout en opposition. C'est dans ce contexte bien singulier, de paysages calmes isolés et sereins que le franchissement de la vallée de l'Ourcq, par la LGV Est européenne, a fait l'objet des premières études architecturales avec

la région Ile-de-France pour définir les grands principes du parti esthétique et technique, en concertation avec les représentants des associations locales, des riverains concernés et des acteurs du projet.

Pour unifier ces paysages organisés de manières diverses, il nous est apparu nécessaire que le viaduc de huit travées soit un ouvrage-trait, avec un bipoutre de hauteur constante qui vient s'inscrire de manière sobre entre les deux culées qui elles-mêmes sont placées d'un côté à proximité du canal et de l'autre au-delà des courbes et contre-courbes de la rivière.

Les appuis

Les deux culées du viaduc et les deux piles extrêmes (P1 et P7) sont fondées sur semelles superficielles, alors que les cinq piles centrales (P2 à P6) sont fondées chacune sur six pieux de diamètre 1 800 mm et d'une profondeur moyenne de 24 m.

Les semelles des piles P3 à P7 sont réalisées sous le niveau de la nappe phréatique, au sein de bardeaux de dimensions 13,50 m par 8,50 m.

Les piles, architecturées, ont une hauteur variant

lisation pour le lot 19

entre 23 et 35 m. Au-dessus de la semelle, d'une épaisseur de 2,50 m, la partie inférieure du fût est rectangulaire (4,25 m x 6,80 m) et de hauteur variable. Elle est creuse, exception faite des deux derniers mètres. Au-dessus, le fût s'évase en deux branches courbes symétriques (section rectangulaire 2 m x 4,25 m) qui s'éloignent transversalement à l'axe de l'ouvrage. Ces branches sont jointes à leur base par une entretoise en forme d'obus et au sommet par un chevêtre haut de 1,70 m. Des murs caches viennent prolonger la courbure de la partie haute des piles sur une hauteur de 3,46 m de part et d'autre du tablier posé sur le chevêtre. Trois outils de coffrages semi-grimpants sont utilisés pour la réalisation des piles. Celles-ci sont donc construites étage par étage. Des ancrages sont incorporés lors de bétonnage d'une levée et permettent la fixation de l'outil pour la levée suivante. Cette technique est régulièrement utilisée pour

construire des ouvrages de grande hauteur mais nécessite une grande précision dans l'implantation des ancrages.

Les deux premiers outils sont destinés à la réalisation des levées successives de la partie basse de section constante et de hauteur variable et pour couler l'entretoise en forme d'obus. L'autre outil permet la réalisation en trois levées successives des neuf derniers mètres des piles comprenant les branches et le chevêtre supérieur.

Les murs caches sont quant à eux préfabriqués sur site, levés et clavés en tête de pile une fois la charpente métallique en place.

Le tablier

La structure

L'ouvrage vu en plan est rectiligne. Son profil en long décrit une pente variant entre 2,5 % et 3,5 %.

Michel Le Goazigo



CHEF DU CENTRE
OPÉRATIONNEL
DE VAIRES-SUR-MARNE
Ingénierie SNCF
MOEGC groupement SNCF -
Arcadis

Philippe Bouquet



CHARGÉ DE TRAVAUX
Ingénierie SNCF
MOEGC groupement SNCF -
Arcadis

Delphine Hun



RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT DU
CENTRE OPÉRATIONNEL
DE VAIRES-SUR-MARNE
Ingénierie SNCF - MOEGC
Groupement SNCF - Arcadis

François Turbelin



DIRECTEUR DE TRAVAUX
Groupement d'entreprises -
Bouygues mandataire

LA NOUVELLE CONTRACTUALISATION MISE EN ŒUVRE POUR LE VIADUC DE L'OURCQ

Le maître d'ouvrage RFF a sollicité les maîtres d'œuvre sur des démarches innovantes pour les marchés de génie civil. Dans ce cadre, le groupement SNCF - Arcadis a proposé et développé un nouveau concept de contractualisation.

Une idée : comment appréhender et gérer le coût final prévisionnel d'un marché avec le mieux disant?

Un concept : l'amélioration des procédures de dévolution des marchés aux entreprises en intégrant une grille d'évaluation des risques prévisibles : MERP® de Lucien Guttières (1).

Une nouvelle contractualisation : l'attribution au mieux disant avec la mise en concurrence sur un périmètre plus large incluant l'incertitude sur les quantités et les risques prévisibles.

Ce nouveau concept a été appliqué sur trois lots de la LGV Est européenne, les lots 19, 34A et 34B. Le maître d'œuvre propose au maître d'ouvrage une grille d'évaluation, la plus complète possible, des risques prévisibles en intégrant une dimension probabiliste aux critères de choix.

Chaque entreprise consultée doit appréhender les risques susceptibles de survenir, compte tenu de son modèle de chantier, et apprécier ces risques en valeur (prix et quantités d'unités risquées) et probabilité d'apparition.

Pour le maître d'ouvrage, la concurrence joue ainsi par anticipation sur les habituels thèmes réclamatatoires dès le stade de l'offre en situation non perturbée. Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre ont une meilleure visibilité en amont sur le coût final prévisible. Un montant de référence sur le périmètre global du détail estimatif et des risques est le pivot d'une formule d'intéressement qui incite les entreprises à maîtriser l'ensemble des risques.

L'entreprise est donc incitée à respecter son engagement sur le périmètre élargi aux risques prévisibles.

RFF attend de cette approche partenariale une meilleure maîtrise de la vie contractuelle du marché et un meilleur contrôle de l'évolution du coût final.

Ce premier pas dans la direction du partenariat comporte le pari implicite de relations différentes avec un véritable partage des risques fondé sur une plus grande transparence.

(1) Le MERP® est un concept créé par Lucien Guttières, ingénieur ECP, expert génie civil auprès de la cour d'appel de Paris.

► Les points haut et bas sont respectivement situés au droit des culées ouest et est.

Le tablier présente une structure en caisson mixte acier-béton. Il se compose de deux poutres métalliques verticales et parallèles hautes de 3,90 m et distantes de 6 m, liaisonnées entre elles par des diaphragmes métalliques distants de 12 m environ, et de deux hourdis béton en parties inférieure et supérieure.

La charpente métallique (1700 t au total) est composée de tronçons acheminés par voie routière. Elle est assemblée à l'est de la culée C8 et poussée en quatre phases au-dessus des appuis, à l'aide d'un treuil d'une poussée maximale de 200 t.

Le hourdis inférieur, qui a structurellement un rôle

de contreventement, est constitué de dalles pleines préfabriquées et posées sur la semelle des deux poutres métalliques avant les lancements de charpente. Une fois la charpente en place et descendue à son niveau définitif, les dalles sont clavées. Le hourdis supérieur est destiné à supporter les deux voies de la LGV. D'une largeur de 12,64 m, il présente une épaisseur variable de 25 cm en rives à 43 cm à l'axe.

Le mode opératoire de sa réalisation est intéressant. Les prédalles qui servent de coffrage perdu au tablier entre les poutres métalliques sont préfabriquées sur site. Un outil roulant sur la charpente permet de les prendre cinq par cinq au niveau de la culée C0, de les transporter et de les disposer tout au long de l'ouvrage.

Le même outil permet également le transport et la mise en place des armatures du hourdis supérieur, par paillasse préfabriquées d'environ 12 m de long.

Enfin, deux équipages mobiles permettent de bétonner la dalle en 38 plots de longueur variant entre 11,25 m et 13,15 m : le premier pour les plots hors appuis et le second pour les clavages au droit des appuis.

Après réalisation du hourdis supérieur, les équipements sont mis en place : les corniches préfabriquées en béton poli de teinte ocre clair (hauteur 2,34 m dont 1,55 m au-dessus de la surface du tablier) ainsi que les caniveaux à câbles. Puis l'étanchéité est mise en œuvre et deux outils spécifiques roulant sur la dalle du tablier permettent l'application de la dernière couche de peinture sur les poutres métalliques.

De l'art du lancement d'une charpente métallique...

La charpente métallique (1 700 t au total) est composée de tronçons acheminés par voie routière.

Quatre phases de lancement sont prévues pour la glisser au-dessus des appuis. Pour l'occasion, un avant- bec de 25 m de long fixé à l'avant de la charpente permet l'accostage sur les appuis en compensant la flèche prise par la structure sous son propre poids lorsqu'elle n'est pas soutenue.

Entre deux phases de lancement, les tronçons suivants sont acheminés et soudés à l'arrière. La charpente est ainsi progressivement assemblée.

Lors des lancements, la charpente roule sur des chaises à galets, sortes de rollers à l'envers. Elle est mue par un système de treuil d'une poussée maximale de 200 t. Le câble métallique de traction démultiplié par un ensemble de mouffles, vient se reprendre sur le sommier de la culée C8 (point fixe de traction) et sur l'arrière-bec, pièce métallique fixée à l'arrière du tronçon de charpente qui pousse celui-ci vers C0.

Le premier lancement de 105 m permet à la charpente d'atteindre la pile P6 ; le deuxième et le troisième (120 m à chaque fois) permettent d'aller

LE CONTRÔLE DES OUVRAGES D'ART

L'assurance du respect des exigences du contrat et de la qualité des ouvrages d'art réalisés est initiée et validée à chaque étape du processus de réalisation. Pour ce faire, divers acteurs interviennent à tout moment de la construction, et valident la bonne réalisation de la partie d'ouvrage confectionnée.

Aussi, pour vérifier la construction selon les règles de l'art, la démarche qualité repose sur :

- un contrôle interne,
- un contrôle externe,
- un contrôle extérieur.

La première étape est la mise en place d'un contrôle qualité, interne à la production de l'entreprise, réactif et efficace. La seconde étape est la vérification et le suivi permanent des procédures, méthodes, conditions d'exécution, procédés, etc. par le responsable de la qualité dans le cadre du contrôle externe de l'entreprise. Il est également le gestionnaire des documents qualité particuliers tels que par exemple les fiches d'adaptation, les fiches de modifications, les fiches de non conformité. L'efficacité de ce contrôle qualité est essentielle à la bonne réalisation des ouvrages.

La troisième étape, souvent réalisée parallèlement aux deux premières, est le contrôle extérieur. Il est confié par le maître d'ouvrage d'une part au maître d'œuvre et d'autre part à des organismes indépendants.

Pour le maître d'œuvre il est assuré par l'équipe en charge du lot. Celle-ci est composée de spécialistes ouvrages d'art des divers domaines rencontrés : béton, métal, fondations spéciales, etc. Concernant les ouvrages métalliques, l'accent est mis, en particulier, sur les contrôles en usine des différents éléments constituant l'ossature de l'ouvrage, contrôles finalisés par un montage "à blanc" préalable à l'autorisation d'expédition. Le caractère industriel de ce type de produit rend son contrôle plus aisé car la démarche qualité fait partie intégrante, depuis longtemps déjà, de la chaîne de fabrication. La direction de la maîtrise d'œuvre de génie civil du groupement SNCF - Arcadis, par le biais de son gestionnaire technique de l'ouvrage, centralise et homogénéise les diverses actions sur l'ensemble des tronçons.

La formalisation des contrôles de l'entreprise et du contrôle du maître d'œuvre est précisée dans un document appelé "Plan de surveillance" rédigé contradictoirement. Outre la surveillance régulière des chantiers, la validation par le maître d'œuvre de la bonne réalisation des ouvrages est concrétisée par la levée des points d'arrêt.

En complément, le maître d'ouvrage a mandaté divers organismes pour effectuer des missions de contrôle extérieur ciblées dans certains domaines tels que la topographie, les structures métalliques, les matériaux, et les ouvrages de première catégorie.

jusqu'à la pile P4 puis la pile P2. Enfin, au cours du dernier lancement de 105 m, la culée C0 est atteinte.

A cet instant, le tablier est posé sur calage provisoire 1 m au-dessus de son niveau définitif. Les phases qui suivent sont le retrait des éléments de lancement (avant-bec, arrière-bec et chaises à galets) et le dévérinage progressif de l'ensemble. Enfin, lorsque le niveau définitif est atteint, les appareils d'appuis, éléments assurant la liaison mécanique entre les appuis et le tablier de l'ouvrage, sont mis en place.

L'environnement

Toute la vallée de l'Ourcq est classée en ZNIEFF, (Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique). En effet, la faune et la flore de cette zone humide présentent une richesse et une diversité rares en Ile-de-France.

Le franchissement de la vallée par le viaduc de 450 m de long permet d'éviter l'effet de coupure, aussi bien pour la flore que pour les déplacements de la faune. Celle-ci est d'ailleurs particulièrement riche dans la vallée de l'Ourcq : pas moins de 60 espèces d'oiseaux ont été observées, avec neuf espèces de rapaces dont le rare busard des roseaux. En outre, la présence de nombreux microhabitats humides fait de cette vallée un lieu de reproduction très intéressant pour les reptiles et les batraciens : couleuvre d'Esculape, grenouilles rousses, grenouilles agiles et tritons palmés ont été recensés dans la zone humide. Le canal, l'Ourcq et les marais font également partie du territoire de chasse des chauves-souris.

Le tracé de la LGV retenu au droit de cette vallée tient compte de la qualité du milieu traversé.

Ainsi, le viaduc ne coupe que la partie boisée la moins riche de la zone humide de l'Ourcq : la peupleraie. De cette manière, les habitats les plus intéressants (forêts alluviales résiduelles et marais) se situent hors emprise travaux, et les impacts sur le site se trouvent limités.

■ UNE DÉMARCHE PARTENARIALE

Sur le lot 19, une démarche partenariale a été initiée, dès la mise au point du contrat, entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entrepreneur. Tout d'abord une réflexion a été menée, en commun, afin de chercher une nouvelle notion de conduite de projet, élaborée sur la base d'une implication forte des acteurs, seuls garants de la réussite. Cette réflexion a donné le jour à une charte de partenariat au travers de laquelle des engagements forts ont été pris par les différents acteurs.

La mise en application et le respect de cette charte partenariale ont nécessité, bien évidemment, l'adhésion de chacun, mais aussi :



Vue depuis le canal de l'Ourcq - Lancement du tablier en cours

View from the Ourcq Canal - Launching of the deck in progress



Vue depuis la culée ouest - Tablier lancé

View from the western abutment - Launched deck

- ◆ une meilleure communication, une transparence dans les échanges et une réelle confiance entre les acteurs ;
- ◆ une association des compétences de chacun des acteurs ;
- ◆ une volonté d'éviter les conflits et donc la mise en place d'un dialogue dynamique et constructif dès l'apparition d'un problème ;
- ◆ une recherche collégiale d'optimisation pour respecter les engagements pris et les intérêts de chacun.

L'application de ces engagements a permis :

- ◆ une réactivité collégiale face à l'instabilité de la



▶ paroi Est du canal de l'Ourcq au droit de la fouille d'une pile. Les études conjointes ont permis l'émergence de solutions constructives qui, après validation par les Services des Canaux de Paris, ont été mises en œuvre sans retarder le chantier ;

◆ deux optimisations techniques en cours de travaux. Celles-ci ont été initiées par l'entreprise et validées par le maître d'œuvre de génie civil. Elles permettaient de respecter les objectifs du contrat en mettant en œuvre des procédés constructifs moins onéreux.

La validation de ces propositions par l'ensemble des acteurs se concrétise par un avenant. C'est ainsi que l'entrepreneur conformément aux termes de son contrat, est intéressé sur le gain réalisé, in fine, par le maître d'ouvrage.

ABSTRACT

The Ourcq viaduct: a new form of contract for work section 19

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun, Fr. Turbelin

Work section 19, 750 metres long, is located in the Seine-et-Marne Department, roughly in the centre of section A. The design work is performed by the SNCF-Arcadis project management consortium and construction is performed by the consortium led by Bouygues TP. This work section consists of the Ourcq viaduct and its associated adjacent embankments.

The Ourcq viaduct, 450 metres long, provides a crossing over the Ourcq Valley, a protected moist area classified as a "ZNIEFF" (natural area of ecological, fauna and flora interest). At a height of over 30 metres, the viaduct passes over this valley which includes the Ourcq River and its two backwaters, and the Ourcq Canal that splits the site into two parts due to the prohibition on loads being carried over it during the work phase.

The structure rests on nine supports, seven intermediate piers (numbered P1 to P7 from west to east) and two approach abutments (C0 in the west and C8 in the east), i.e. eight continuous spans with lengths of 60 metres between piers and 45 metres between piers and abutments respectively. With a gradient of 35‰ over one-third of its length, it is one of the steepest viaducts on the East European High-Speed Train Line.

zona húmeda protegida clasificada como Zona natural de interés ecológico, faunístico y florístico (ZNIEFF). Con más de 30 m de altura, el viaducto domina este valle que incluye el río Ourcq y sus dos ramales muertos, así como el propio canal del Ourcq que divide las obras en dos partes debido a la prohibición de paso de cargas durante la etapa de las obras.

La estructura está soportada por nueve apoyos, siete pilas intermedias (numeradas de oeste hacia el este P1 a P7) y dos estribos de acceso (C0 por el oeste y C8 por el este), o sea, nueve tramos continuos cuyas longitudes se elevan, respectivamente, a 60 m entre pilas y 45 m entre pilas y estribos. Con una declividad de un 35 ‰ para una tercera parte de su longitud, se trata de uno de los viaductos de mayor pendiente de la Línea de Alta Velocidad Este europea.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto del Ourcq : una nueva contractualización para el lote 19

M. Le Goazigo, Ph. Bouquet, D. Hun y Fr. Turbelin

El lote nº 19, de 750 m de longitud, está ubicado en Seine-et-Marne, no lejos del centro del tramo A y ha sido diseñado por el grupo de ejecución de infraestructuras de la SNCF - Arcadis, actuando como apoderado el grupo de empresas constructoras Bouygues TP. Este lote incluye el viaducto del Ourcq y de sus terraplenados correspondientes. Tiene una longitud de 450 m y permite la travesía del valle del Ourcq, en una

Le passage sous A4 à Janvry dans la Marne

Le tronçon B, d'une longueur totale de 56 km entre Château-Thierry et Reims, constitue une partie complexe de la LGV en raison de la géologie rencontrée, du passage dans le vignoble de Champagne, du contournement sud de Reims et de la mitoyenneté avec l'autoroute A4 sur la quasi-totalité du tronçon.

Le lot 29 réunit sur 2,5 km toutes ces difficultés : passage sous l'autoroute avec une tranchée couverte dans une zone instable, vignes de la montagne de Reims, proximité de communes de la proche agglomération...

Ce lot a été confié à l'entreprise Carillion BTP.

Compte tenu de la topographie et des contraintes de profil en long d'une voie ferrée à grande vitesse, la tranchée couverte a été prolongée par une tranchée ouverte butonnée de 380 m de long, de 12,10 m de largeur, d'une hauteur variable de 10 à 14 m.

La structure à réaliser est un "U" en béton armé, butonnée en tête, et exécutée à l'abri d'un soutènement provisoire.

Des contraintes techniques et le planning ont amené l'entreprise à concevoir et mettre au point un outil coffrant original.

Didier Jouveaux
DIRECTEUR MAÎTRISE
D'ŒUVRE TRAVAUX
Ingérop



Pascale Mathern
DIRECTEUR TRAVAUX
DU LOT 29
Ingérop



Bernard Cantenot
CHEF DE PROJET LOT 29
Carillion



Philippe Henriet
COORDONNATEUR
ETUDES TRAVAUX
LOT 29
Carillion



■ LA CONCEPTION

Présentation générale du lot 29

La maîtrise d'œuvre du tronçon B a été confiée par RFF à un groupement de trois bureaux d'ingénierie européens ISL : Ingérop (mandataire), Thalès-EC et Lux Consult.

Ce tronçon, d'une longueur totale de 56 km entre Château-Thierry et Reims, constitue une partie complexe de la ligne grande vitesse en raison de la géologie rencontrée dans le sud de l'Aisne et l'ouest de la Marne, du passage dans le vignoble de Champagne, du contournement sud de Reims et de la mitoyenneté avec l'autoroute A4 sur la quasi-totalité du tronçon.

Le lot 29 est un lot particulier, comportant le passage sous l'autoroute A4 (dans le sens nord-sud) et la traversée de la butte de Janvry. Il traverse les trois communes de Janvry, Gueux et Vrigny (figure 1).

Le franchissement de l'autoroute A4 par la LGV est réalisé avec une tranchée couverte entre parois moulées de 190 m de long. Cette longueur est fixée par le biais important de l'ouvrage par rapport à l'autoroute (25 grades environ). Cette tranchée est réalisée en deux phases pour maintenir la circulation de l'autoroute. La dalle de couverture et les piédroits de la tranchée sont construits à partir du terrain naturel et ce n'est que lorsque la circulation de l'autoroute A4 peut être rétablie sur la dalle ré-



Figure 1
Plan de situation
Location drawing

chement construite que les terrassements en talpe de la tranchée peuvent être réalisés. Cette tranchée couverte est prolongée à l'est par une tranchée ouverte de 380 m, pour permettre la descente de la montagne de Reims.

Enfin, à la sortie est de la tranchée couverte, la

Photo 1
Vue aérienne
de la tranchée ouverte
et du passage
supérieur

*Aerial view
of the open cutting
and the overpass*



► RD 227 franchit la LGV contiguë à l'autoroute A4 par un ouvrage de 72 m à quatre travées (photo 1).

La problématique...

La traversée de l'autoroute A4 et le franchissement de la côte d'Ile-de-France à Janvry cumulent de nombreuses difficultés :

- ◆ tout d'abord d'ordre technique : la présence d'une zone de forte instabilité d'ordre géotechnique qui s'est déjà manifestée, il y a quelques années, par des désordres affectant les abords immédiats de l'autoroute A4 ;
- ◆ un contexte local difficile : des revendications fermement affichées par des associations de défense bien organisées rassemblant toutes les communes voisines de Reims et traversées par le projet ;
- ◆ une interface délicate à traiter entre la future LGV et l'autoroute A4 existante, du fait des contraintes d'exploitation de l'autoroute ;
- ◆ la présence de parcelles viticoles touchées par le projet de la LGV ;
- ◆ des communes déjà sensibilisées par la construction il y a des décennies de l'autoroute A4.

Les réponses apportées par ISL...

Afin de traiter au mieux chacune de ces difficultés, les équipes d'ISL se sont fortement mobilisées pour optimiser le projet dans ce secteur délicat. Pour ce faire, ISL a conçu une nouvelle variante qui modifiait le tracé en plan et le profil en long ; l'objectif était de "resserrer" le croisement de l'autoroute et de la LGV pour éviter de passer au travers d'une colline instable, de minimiser les délaissés entre A4 et la LGV, et de limiter le plus possible les déblais.

Cette variante a permis d'offrir aux collectivités locales un abaissement important du profil en long, ce qui constituait leur demande essentielle, afin de les protéger du bruit et de minimiser l'impact visuel.

Le rapprochement de la LGV et de l'autoroute a permis de réduire très sensiblement l'emprise dans les vignes.

Les aménagements d'insertion de la LGV proprement dite ont pu être complétés par la réalisation d'un merlon le long de l'autoroute A4 et de la LGV pour protéger la commune de Gueux ; cette opération particulière a pu être mise en œuvre grâce à la coopération de la commune, qui a mis à disposition le foncier nécessaire, et à l'existence d'excédents de matériaux issus des déblais du chantier. Tous ces aménagements ont ainsi permis de remplacer de manière concertée une partie de la tranchée couverte par une trémie butonnée. Les économies ainsi réalisées sur la partie génie civil du projet ont pu permettre d'apporter un soin particulier aux éléments d'intégration de la ligne dans son environnement : merlons acoustiques optimisés, aménagements paysagers conçus en associant le plus possible les élus locaux, notamment des communes de Janvry, Gueux et Vrigny, traitement des délaissés entre l'autoroute A4 et la future LGV, etc. (figure 2).

La concertation des acteurs locaux, qui avait été initiée pendant la phase de conception et qui avait su créer un climat de confiance entre les élus, les associations, ISL et RFF, malgré les inquiétudes ambiantes, reste aujourd'hui l'outil de base de nos équipes responsables des travaux. Nous citerons comme exemple l'association et l'implication des maires des communes riveraines dans la mise au point des projets d'aménagements paysagers. Les équipes de l'entreprise Carillion se sont parfaitement intégrées dans ce processus dès le démarrage des travaux. Cette implication des acteurs locaux, depuis le début de la mission jusqu'à la réalisation des travaux est certainement une des garanties d'un projet techniquement, économiquement et environnementalement optimisé.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Déblai : 490 400 m³
- Remblai : 380 000 m³
- Paroi berlinoise : 10 850 m²
- Béton de structure : 25 000 m³
- Acier pour béton de structure : 2 900 t

■ LA RÉALISATION

Un ouvrage exceptionnel, une géologie difficile

Le franchissement de la LGV, sous l'autoroute A4 au niveau de Janvry consiste en une tranchée couverte, prolongée par une tranchée ouverte butonnée côté Reims.

Cette tranchée ouverte, profonde de 10 à 14 m, est réalisée à l'abri d'un soutènement provisoire, exécuté à partir de la plate-forme livrée au fond d'un grand déblai de 380 000 m³.

En tête de la tranchée, les marnes et caillasses du Lutétien sont représentées par des alternances de calcaires tendres, crayeux, marneux, et par des argiles vertes. Viennent ensuite les calcaires grossiers ; la formation comporte un horizon supérieur de 5 à 6 m d'épaisseur de calcaire beige, tendre, à chaille, puis à la base un horizon de 4 à 5 m de calcaire coquiller. En fond de tranchée, on trouve les sables fins aux colorations vives de l'Yprésien. A cela s'ajoute un réseau très dense de fractures dans le calcaire.

A l'est, la structure est partiellement sous la nappe phréatique, présente dans les sables sur une profondeur variant de 1,5 à 5 m.

Une paroi berlinoise en soutènement provisoire

Après le terrassement en masse du déblai, une paroi berlinoise a été réalisée comme soutènement provisoire.

Il s'agit d'une berlinoise traditionnelle, réalisée de l'extrémité aval à l'est vers l'amont à l'ouest, avec des profils H descendus et scellés dans des forages à la tarière, avec carottage des bancs de calcaire les plus durs. Au droit de la pile centrale de l'ouvrage de rétablissement de la RD 227, un passage supérieur qui traverse la tranchée ouverte en son milieu, les profils H sont remplacés par des pieux forés. Le soutènement est alors de type parisienne.

Après le terrassement d'une première passe, le blindage entre profilés est réalisé à l'aide de bastaings, et un lit supérieur de butons est mis en place.

Terrassements et boisages par passes de 2,00 m environ, se succèdent jusqu'au niveau du lit inférieur de butons, et reprennent jusqu'au niveau de la sous-face du radier.

Les principales difficultés à craindre provenaient du niveau de la nappe, ce qui nous a fait opter pour un blindage bois plutôt qu'en béton projeté.

En fait, ces travaux se sont déroulés pendant l'été caniculaire de 2003, et la topographie avec un pendage très marqué vers Reims ont créé des conditions de réalisation plutôt favorables, finalement



Figure 2
Image de l'entrée
ouest
de la tranchée
couverte

Picture
of the western
entrance
to the cut-and-cover
tunnel



Photo 2
Terrassements
de la tranchée ouverte
Open cutting
earthworks

sans gêne marquée apportée par la nappe, autre que des portances très faibles à l'extrémité aval de l'ouvrage qui ont compliqué la mise en œuvre des bétons de propreté (photo 2).

La tranchée ouverte

Cette tranchée est un U en béton armé butonné. Elle est découpée en 16 plots de 25 m environ pour les radiers et de 32 plots pour les voiles, dont la longueur unitaire est limitée à 12,50 m. Les joints sont équipés de bandes d'arrêt d'eau et d'embranchements.

Photo 3
Ouvrage terminé
Completed
structure



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Réseau Ferré de France - Direction des opérations de la LGV Est européenne

Maître d'œuvre

- Groupement d'entreprises I.S.L (Ingérop (mandataire) - Thalès - Lux Consult)
- Architecte : Architecture Neel

Entreprise principale

Carillion BTP - Carros 06

Assistance géologie

Jean-Sébastien Moreau - Aramon 30

Bureau d'études

Arcadis E.E.G. Simecsol - Lyon 69

Bureau de méthode

Méthodes Semi - Bassens 73

Armatures

- Fournitures Cepaba - Avignon 84
- Pose EMCA - Massy 91

Terrassements

Urano - Warq 08

Fondations spéciales

Sefi Intrafor - Viry-Chatillon 91

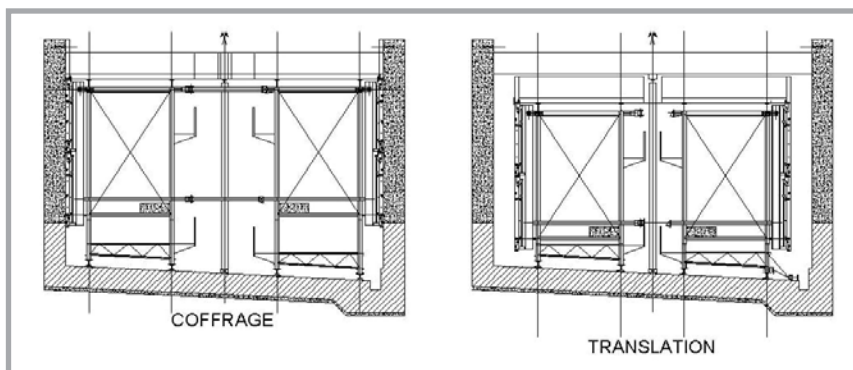
Date

Le marché a débuté le 3 juin 2002 pour 27 mois de travaux

Coût de l'opération

25 839 125 € HT

Figure 3
Outil coffrant
dans les deux
situations :
coffrage
et translation
Sectional
formwork in the
two situations :
shuttering
and translation



La pente longitudinale de 3,5 % du radier de la tranchée ouverte nous a conduits à réaliser la paroi berlinoise et la structure béton du point bas (côté Reims) vers le point haut (liaison avec la tranchée couverte sous l'autoroute A4) pour drainer gravitairement le chantier vers l'Est.

En phase travaux la nappe est ainsi naturellement rabattue par les terrassements et évacuée sous les radiers par un drain. En exploitation, le drainage sera assuré par des drains subhorizontaux se rejetant dans un caniveau latéral du radier de la tranchée.

Le phasage de réalisation de la tranchée est le suivant :

- ◆ réalisation du radier ;
- ◆ enlèvement du lit inférieur de butons ;
- ◆ réalisation de la partie inférieure des voiles, d'une hauteur constante, sous le lit supérieur de butons ;
- ◆ enlèvement du lit supérieur de butons ;
- ◆ réalisation de la partie supérieure des voiles et des murets garde-corps (photo 3).

La conception d'un outil

Le découpage en plots, la hauteur constante entre le radier et les butons, les cotes variables des voiles latéraux au-dessus des butons, et le respect du planning ont constitué les paramètres de réflexion pour la conception et la définition des outils coffrants.

Notre analyse en collaboration avec le bureau de méthode Semi a mis en évidence les difficultés suivantes :

- ◆ réalisation de voiles latéraux en coffrages une seule face, la hauteur à coffrer étant de l'ordre de 9,00 m ;

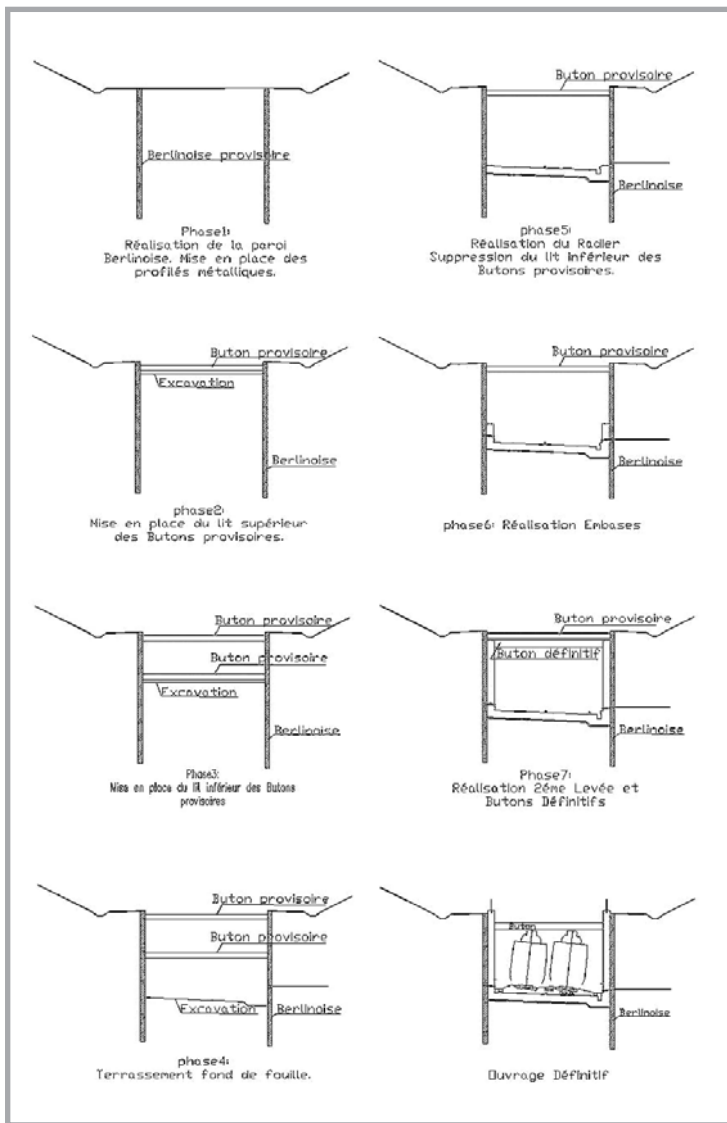


Photo 4
L'outil coffrant
en place
The sectional formwork
in place



Figure 4
Synoptique
de réalisation
Construction
block diagram

- ◆ réalisation de 104 butons de 12,10 m de longueur, de section carrée de 80 cm de côté, à réaliser à près de 8,00 m de hauteur, avec des risques de non-conformité sur le positionnement en vis-à-vis des manchons en attente pour les butons dans les voiles (48 manchons par butons);
- ◆ atteinte de l'objectif d'une cadence de réalisation des deux plots de voile par semaine, soit l'équivalent d'un linéaire d'un plot de radier, compatible avec les résistances au jeune âge nécessaires au décoffrage.

Le choix s'est porté sur un outil coffrant permettant :

- le coulage simultané des voiles en vis-à-vis, les efforts de poussée étant repris par des butons entre les coffrages;
- le coulage simultané des butons et des voiles ce qui supprimait totalement les manchons et donc les risques de non-conformité de leur positionnement.

Cet outil devait pouvoir être "effondré" d'une hauteur supérieure à la hauteur des butons coulés

simultanément, pour pouvoir être ensuite rapidement translaté longitudinalement d'un plot au suivant afin de respecter le programme des travaux (figure 3).

Cela supposait l'exécution préalable d'une embase de voile à couler sur le radier faisant office de "fausse levée".

Le phasage final retenu fut donc le suivant :

- ◆ phase 1 : après réalisation du radier, exécution d'une première levée ou embase, des voiles latéraux permettant d'atteindre le même niveau d'arase de part et d'autre de la tranchée ouverte;
- ◆ phase 2 : réalisation d'une deuxième levée de hauteur constante avec un outil de type "portique", jusqu'à une cote + 0,50 m au-dessus des butons en béton, avec coulage simultané de ceux-ci;
- ◆ phase 3 : réalisation d'une troisième levée avec un outil de coffrage une face classique, de hauteur variable;
- ◆ phase 4 : réalisation des murets garde-corps (figure 4).

► L'ensemble des outils a été fabriqué par la société Simpra, d'août à décembre 2003. Leur montage s'est achevé sur le site fin février 2004 pour une utilisation prévue jusqu'en juillet 2004 (photo 4).

ABSTRACT

The A4 underpass at Janvry in the Marne region

D. Jouveaux, P. Mathern, B. Cantenot, Ph. Henriët

Section B, of total length 56 km between Château-Thierry and Reims, is a complex part of the High-Speed Train Line due to the geological features encountered, the passage through the Champagne vineyards, the bypass south of Reims and the fact that it runs alongside the A4 motorway over nearly the entire section.

Work section 29 represents a combination of all these difficulties over 2.5 km : passage under the motorway with a cut-and-cover in an unstable zone, mountain vineyards at Reims, proximity to districts of the nearby town, etc.

This work section was awarded to the company Carillion BTP.

Given the topography and the longitudinal profile constraints of a high-speed rail line, the cut-and-cover tunnel was extended by a stayed open cutting 380 metres long, 12.10 m wide, and of variable height between 10 and 14 metres.

The structure to be constructed is a reinforced concrete "U" shape, stayed at the head, and executed under the shelter of a temporary supporting system.

Due to technical constraints and the work schedule, the contractor designed and developed original sectional formwork.

RESUMEN ESPAÑOL

El paso inferior A4 en Janvry, en el Marne

D. Jouveaux, P. Mathern, B. Cantenot y Ph. Henriët

El tramo B, cuya longitud total asciende a 56 km, entre Château Thierry y Reims, representa una parte compleja de la LAV, debido a la geología con que se tropieza, desde el paso por el viñedo de Champagne, de la variante sur de Reims y de la coincidencia con la autopista A4 en la inmensa mayoría del tramo.

El lote 29 reúne, en una distancia de 2,5 km, todas estas dificultades : paso inferior de la autopista con una trinchera cubierta en una zona inestable,

viñedos de la montaña de Reims, proximidad de los municipios de la proximidad de la aglomeración urbana...

Este lote ha sido encargado a la empresa Carillion BTP.

Habida cuenta de la topografía y de los imperativos de perfil longitudinal de una vía férrea de alta velocidad, la trinchera cubierta se ha prolongado por una trinchera abierta apuntalada de 380 m de longitud, 12,10 m de anchura y una altura que oscila entre 10 y 14 m. La estructura que se trata de ejecutar consiste en una "U" de hormigón armado, apuntalada en cabeza y ejecutada al resguardo de una entibación provisional.

Los imperativos técnicos y el plan de ejecución han conducido a la empresa a diseñar y perfeccionar un equipo especial de encofrado.

Tronçon C

Les ouvrages de génie civil du lot 23B

L'article présente les ouvrages de génie civil du lot 23B du tronçon C.

Ces ouvrages sont constitués principalement des terrassements réalisés dans la craie, mais également des matériaux composant la structure ferroviaire, du drainage, du rétablissement des voiries coupées ou déplacées par le projet, ainsi que des ouvrages d'art qui sont nécessaires pour franchir les infrastructures rencontrées, ou pour permettre aux diverses voies de franchir la LGV.

L'article explicite notamment les traitements qui ont dû être réalisés en vue de la réutilisation de la craie en remblai avec les différentes contraintes qui y étaient associées. Il décrit également le système de drainage, ainsi que les types d'ouvrages d'art qui ont été retenus pour les divers franchissements.

■ INTRODUCTION

Le tronçon C, long de 47 km, débute à Taissy (Marne) situé au sud-est de Reims et se prolonge jusqu'à Tilloy-et-Bellay (Marne) situé au nord-est de Châlons-en-Champagne. Il est découpé en deux lots (lots 23A et 23B) de travaux de longueurs à peu près égales. Le présent article porte sur le lot 23B. La maîtrise d'œuvre de ce lot est assurée par le groupement Tractebel Development Engineering - Coyne et Bellier, tandis que les travaux de génie civil sont réalisés par un groupement dont le mandataire est Roger Martin et comprenant les entreprises Charrier TP - Berthouly TP - Semen TP - Rabot Dutilleul génie civil et SNCTP.

Les formations géologiques rencontrées sont assez uniformes sur l'ensemble du lot et comprennent (de haut en bas) la terre végétale, localement un peu de limon superficiel, de la graveluche dans certaines buttes, quelques poches de colluvions et essentiellement de la craie plus ou moins altérée. Les terrassements portent sur un mouvement des terres global de l'ordre de 2,5 millions de m³.

Une base travaux est située au milieu du tronçon C soit à l'extrémité ouest du lot 23B ; elle permettra de réaliser les travaux d'équipements ferroviaires (mise en place du ballast, voie, caténaire, signalisation, télécommunication) sur une longueur de l'ordre de 100 km répartie de part et d'autre de cette base.

La maîtrise d'œuvre et le génie civil de cette base ont été inclus dans le périmètre du génie civil de la LGV dans un objectif d'optimisation (photo 1). Les ouvrages d'art du lot 23B sont constitués de ponts rétablissant majoritairement des axes rou-



Photo 1
Vue aérienne de la base travaux d'équipements ferroviaires

Aerial view of the rail construction work base

tiers et ferroviaires coupés par la future LGV. Sur les 23 ponts du lot 23B, seul un ouvrage franchit une brèche naturelle : la rivière Vesle, affluent de l'Aisne. Ceci s'explique surtout par le relief peu prononcé de la région et par un réseau hydrographique d'une densité assez faible.

Ainsi, les 23 ponts se répartissent de la façon suivante :

- ◆ 2 franchissements de voies ferrées existantes (voie Reims ↔ Châlons-en-Champagne, et voie Verdun ↔ Châlons-en-Champagne) ;
- ◆ 1 viaduc au-dessus de l'autoroute A4 (à Bussyle-Château entre Châlons-en-Champagne et Sainte-Ménéhould) ;
- ◆ 1 viaduc franchissant la RN3 entre Châlons-en-Champagne et Sainte-Ménéhould ;

Dominique Friot



RESPONSABLE
OUVRAGES D'ART
SUR LE CHANTIER
Coyne et Bellier

Stéphane Gilson



RESPONSABLE
CONCEPTION
DES VIADUCS
Tractebel Development
Engineering

Eric Waffelaert



RESPONSABLE
CONTRÔLE MATÉRIAUX
SUR LE CHANTIER
Tractebel Development
Engineering

Photos : Dominique Friot, Stéphane Gilson, Eric Waffelaert



© RFF - D. Logerot

Photo 2
Pont-route
à La Chappe
Road bridge
at Chappe



- ◆ 1 ouvrage enjambant la Vesle, servant également de passage à grande faune ;
- ◆ 18 rétablissements routiers (routes départementales, voies communales, chemins d'exploitation).

Certains de ces ouvrages ont dû être déclinés selon des géométries particulières, voire innovantes pour une ligne à grande vitesse. Par exemple, les deux viaducs présentent un biais très sévère avec lequel il fallait composer impérativement.

De nombreux ouvrages hydrauliques de traversées ont été réalisés pour assurer la continuité des thalwegs rencontrés, tandis que la majorité des voiries coupées ont dû être rétablies, ainsi que plusieurs voiries latérales à la LGV pour permettre l'accès aux parcelles agricoles. Aussi le lot 23B compte-t-il plus de kilomètres de rétablissements routiers que de kilomètres de ligne LGV.

Le maître d'œuvre a démarré les études d'avant-projet définitif (APD) mi-1999 sur la base d'un avant-projet sommaire fourni par RFF. Puis se sont succédés les études de projet (PRO) et l'élaboration du dossier de consultation des entreprises (DCE) pour aboutir à un appel d'offres à l'été 2001. Les travaux ont démarré au printemps 2002.

■ PRINCIPAUX CRITÈRES DE PROJET

Le projet a été élaboré sur la base d'un coût d'objectif de travaux sur lequel s'était engagé le maître d'œuvre, conformément à la loi MOP (Maîtrise d'ouvrage publique). Sauf événement majeur qui bouleverserait l'économie du projet, ce coût d'objectif devrait être respecté à l'issue des travaux.

Les contraintes d'exploitation

Les ponts-rails

Ces ouvrages doivent respecter les critères classiques d'une ligne à grande vitesse :

- ◆ largeur utile de 12,30 m intégrant deux voies bal-

lastées de 4,50 m d'entraxe, deux pistes latérales de 0,70 m et deux caniveaux à câbles ;

- ◆ structures peu déformables, verticalement et longitudinalement ;
- ◆ efforts horizontaux (freinage, démarrage) importants à reprendre par les appuis ;
- ◆ résistance à la fatigue ;
- ◆ vitesse de référence de 350 km/h. Des critères de réponse dynamique (accélérations, déformations) sont à vérifier sous neuf convois à grande vitesse (TGV doubles rames, Thalys, ICE, Virgin...), pour garantir l'interopérabilité ;
- ◆ ouvrages nécessitant peu d'entretien et devant être facilement visitables, compte tenu de la difficulté d'intervenir pendant l'exploitation d'une LGV.

Les ponts-routes (photo 2)

Ils s'inscrivent dans le cadre de rétablissements routiers élaborés en concertation avec les exploitants et les futurs usagers. Ces axes sont des chaussées bidirectionnelles, encadrées de trottoirs de 1,00 m de large sur tablier et de dispositifs de retenue type BN4. En plus des critères habituels de résistance aux surcharges routières, on peut citer :

- ◆ le respect du gabarit LGV (12,30 m x 5,90 m) ;
- ◆ des surcharges exceptionnelles militaires (Mc120, porte-char Leclerc) et civiles (convois type C et D) ;
- ◆ protection des usagers des ponts-routes vis-à-vis du risque caténaire ;
- ◆ protection de la LGV vis-à-vis du risque d'intrusion accidentelle d'un véhicule.

Les largeurs utiles obtenues sont comprises entre 7,50 m et 9,00 m.

A noter que quatre rétablissements sont constitués de deux voiries parallèles : par exemple, une route départementale et un chemin d'exploitation agricole. Dans ce cas, la largeur utile globale peut passer à 17,60 m.

Les terrassements

Outre les critères classiques des terrassements LGV, le lot 23B est marqué par une maximisation du réemploi des matériaux entre les déblais et les remblais. La réutilisation de la craie en remblai imposant le traitement à 3 % de ciment de la base des hauts remblais (en résumé : plus de 5 m de haut) et le traitement à 4 % de ciment de la partie supérieure des terrassements (PST) pour la rendre insensible à l'eau et améliorer la classe de qualité du sol support des structures d'assise.

Contexte géologique et géotechnique

La craie blanche est la principale formation géologique rencontrée avec, très localement, des horizons superficiels (couches généralement inférieures à 5 m) de limons et de graveluche (forme grenue de la craie présentant une faible cohésion due à la dégradation de la matrice).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Terrassements

- Décapage terre végétale : 388 000 m³
- Déblais LGV : 2 000 000 m³
- Déblais des rétablissements routiers : 91 000 m³
- Déblais de purge : 24 000 m³
- Remblais LGV : 1 270 000 m³
- Remblais des rétablissements routiers : 350 000 m³
- Remblais ZI/ZH : 23 000 m³
- Traitement des remblais à la chaux : 800 000 m³ et 25 000 t de CaO
- Traitement au ciment des bases de hauts remblais : 344 000 m³ et 16 000 t de CPJ
- Traitements au ciment des PST : 275 000 m³ et 20 000 t de CPJ

Ouvrages d'art

- Surface totale de tablier : 9 500 m²
- Béton (armé ou précontraint) : 24 000 m³
- Aciers HA : 2 800 t
- Aciers de précontrainte : 41 t
- Acier de charpente métallique (S355) : 1 300 t

Dans les zones de craie altérée (zone proche de la Vesle), les études ont montré la probabilité de tassements sous le poids des remblais. Les tassements attendus variaient de 5 à 40 cm, en fonction du degré d'altération et des hauteurs de remblai. En outre, compte tenu de la perméabilité importante de la craie, les tassements devaient apparaître de façon presque concomitante avec la montée du remblai. Plusieurs cas de figures se sont présentés pour traiter ce problème de tassement :

- ◆ pour les remblais, le Référentiel technique RFF impose le traitement au ciment de la base des hauts remblais, des tassements primaires résiduels inférieurs à 2 cm et des tassements secondaires différentiels inférieurs à 4 mm sur des longueurs de 30 m par an. En général, aucune disposition particulière n'a été nécessaire pour respecter ces conditions. Dans le secteur de la Vesle cependant, les matériaux alluvionnaires et les craies très altérées de surface ont été purgés et remplacés par des matériaux de zone inondable (ZI : GNT 0/63). La base du remblai de cette zone a été réalisée en GNT 0/20;

- ◆ pour les culées des ouvrages fondés sur semelles, le tassement était provoqué par un remblai de préchargement, enlevé après tassement et avant construction de la culée;

- ◆ pour les culées des ouvrages fondés sur pieux, le remblai définitif était généralement mis en œuvre et les pieux forés au travers de celui-ci après tassements.

Les mesures des tassements par tassomètres ont montré des tassements compris entre 5 et 30 cm ainsi que la rapidité du tassement (le maximum des tassements a été constaté pour l'ouvrage enjambant la Vesle).

Le risque de présence de cavités artificielles est élevé sous le tracé du lot 23B de la LGV. En effet, après la bataille de la Marne en 1914, le front s'est stabilisé dans le secteur du tracé avec pour conséquence la présence de nombreux abris, sapes et postes enterrés à des profondeurs parfois supérieures à 10 m. De plus, de tout temps, la craie fut abondamment exploitée en champagne comme pierre de construction et pour la fabrication de la chaux. Les exploitations étaient souvent souterraines avec des puits d'accès d'environ 2 m de diamètre.

Ces cavités n'ont pas toujours été méthodiquement rebouchées et sont, pour la plupart des cas, difficilement décelables depuis la surface sans utiliser des moyens d'investigation spécifiques.

La recherche de ces cavités a démarré au moment des études d'APD et s'est poursuivie pendant la réalisation des travaux. Après une étude préliminaire réalisée essentiellement à partir de documents existants (archives militaires et civiles, données géologiques...), des investigations géophysiques ont été réalisées avec des mesures par panneaux électriques, par sondages sismiques et par microgravimétrie. Les anomalies décelées par



Photo 3
Terrassement
en cours

*Earthworks
in progress*

ces prospections ont alors été sondées par terrassement de surface ou forages divers. Sur le lot 23B, douze cavités ont ainsi été découvertes et traitées.

Les franchissements des infrastructures rencontrées pendant les travaux

Pour trois voies franchies, il n'était pas possible d'interrompre le trafic ou de le dévier en dehors de l'emprise des travaux. Il s'agit du viaduc au-dessus de l'autoroute A4 et des deux ponts-rails au-dessus de voies ferrées en service. Les techniques de construction, limitant au maximum les interfaces avec l'exploitation de ces voies, ont permis de réduire au minimum les balisages, basculements ou coupures du trafic.

L'équilibre du mouvement des terres

Concernant les terrassements généraux, le volume de remblai est sensiblement égal au volume de déblai.

Cet équilibre implique la maximisation de la réutilisation des matériaux de déblai du tronçon. Les craies humides classées R12h ou R13h majoritairement rencontrées ont donc dû être traitées à la chaux vive pour permettre leur mise en œuvre. Ces traitements additionnés aux traitements au ciment des bases de hauts remblais et des PST confèrent au budget traitement une importance de l'ordre de 50 % de celui des ouvrages d'art.

De façon à maintenir l'équilibre des mouvements de terre, il a également fallu minimiser les volumes des rampes d'accès aux ouvrages d'art en privilégiant les tabliers de faible épaisseur (dalles ou tabliers à poutres latérales) (photo 3).

► ■ LES TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX

Déblais - Remblais

Zones inondables et zones humides

Dans les zones inondables et humides, les bases de remblai ont été constituées d'une grave non traitée 0/63 de résistance $R = LA + MDE \leq 80$. Il n'existait pas de matériaux répondant à ces spécifications à proximité immédiate du tracé et ils ont donc dû être approvisionnés à partir de la carrière de Gudmont. Cet approvisionnement a été réalisé par train et une aire de stockage reliée au réseau ferroviaire existant a dû être aménagée à Saint-Hilaire-au-Temple (cette aire a par ailleurs servi au stockage des matériaux des couches d'assise).

Photo 4
Atelier
de traitement
Treatment plant



Terrassement de la craie humide

Les craies humides impliquent des techniques particulières de terrassement. Au déblai, les craies poreuses et friables ont été extraites par des méthodes peu destructives pour éviter la production importante d'un mortier humide autour des blocs qui anihile l'efficacité en profondeur des compacteurs. Dans les quelques cas où un matelassage est tout de même apparu, les cadences ont été adaptées et les couches de remblai suivantes n'ont été approvisionnées qu'après stabilisation (un à deux jours de repos).

Par ailleurs, les craies trop humides pour être utilisées dans leur état naturel ont été traitées à la chaux.

Traitements

Environ 25 000 t de chaux vive et 35 000 t de ciment ont été utilisées sur le lot 23B.

Trois types de traitements ont été réalisés :

- ◆ traitement à la chaux des corps de remblai ;
- ◆ traitement à 3 % de ciment et partiellement à la chaux des bases de haut remblai (> 5 m) ;

- ◆ traitement au ciment et partiellement à la chaux des PST.

L'objectif des traitements à la chaux était la diminution de la teneur en eau (hydratation de la chaux, vaporisation d'eau par la chaleur produite par l'hydratation de la chaux et apport de matière sèche). Le traitement au ciment des bases de haut remblai en craie est défini à 3 % par le Référentiel technique RFF. Son objectif était d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la craie pour éviter des déformations.

Pour les PST, les objectifs du traitement étaient de les rendre insensibles à l'eau, d'obtenir une classe de qualité du sol support des structures d'assise S2 (au sens du Référentiel technique RFF) et de protéger les couches sous-jacentes des infiltrations d'eau.

Mis à part pour les bases de haut remblai (dosage fixé à 3 %), la philosophie du schéma 3 du Guide technique des traitements des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques (GTS LCPC-Setra) a été privilégiée. De par ce schéma, l'entreprise a été rémunérée de la totalité des produits de traitement utilisés et de la quantité des matériaux traités avec définitions de limites minimales et maximales pour l'engagement et l'arrêt des traitements. Ceci a garanti l'absence de surconsommation ou l'insuffisance des traitements.

Pour les corps de remblai et bases de haut remblai, les traitements à la chaux ont été réalisés pour la mise en œuvre des craies R12 à IPI < 15 % et R13 à IPI < 10 %. Pour les PST, les traitements à la chaux ont été réalisés quand les IPI étaient inférieurs à 18 % pour les R12 et 12 % pour les R13. Ces IPI correspondent grossièrement à une teneur en eau de 27 %.

Pour les PST, les critères du traitement au ciment étaient une portance > 50 MPa, des indices CBR après 4 jours d'immersion \geq à l'IPI et des perméabilités mesurées in situ < $5 \cdot 10^{-7}$ m/s. Ces objectifs ont été atteints avec un traitement à 4 % de ciment CPJ sur 70 cm d'épaisseur (photo 4).

Les structures d'assise ferroviaires

Les structures d'assise du lot 23B consistent en une couche de forme (CdF) 0/40 sur 35 cm d'épaisseur et une sous-couche ferroviaire (SC) 0/31.5 sur 20 cm d'épaisseur, ayant respectivement des résistances inférieures à 60 et à 40 ($R = LA + MDE$).

Ces matériaux proviennent des carrières de Gudmont et Vignory et ont été acheminés par train jusqu'à l'aire de stockage de Saint-Hilaire-au-Temple. La mise en œuvre de la CdF en 35 cm d'épaisseur a été rendue possible grâce au traitement au ciment de la PST qui a fait passer la classe de qualité du sol support de S1 à S2 (au sens du Référentiel technique RFF). Une réception mécanique des plates-

formes de l'arase (PST) ainsi que de la CdF avec mesure en continu a été réalisée au moyen du portancemètre (LCPC). Les objectifs de portance retenus étaient respectivement de 50 MPa et 100 MPa.

La sous-couche a fait l'objet d'une réception au GDM45 (gammadensimètre en continu) et d'un passage d'APL.

Les structures routières

Les voiries réalisées dans le cadre des travaux de la LGV Est se répartissent en trois catégories :

- ◆ les rétablissements routiers transversaux ;
- ◆ les voiries latérales d'accès aux installations de la ligne LGV.

Les autres voiries latérales permettant le rétablissement de chemin d'exploitation existant ou le désenclavement de parcelles agricoles ou viticoles. Les structures de chaussées ont été établies en concertation avec les différents gestionnaires des voiries.

Pour toutes les voiries, hormis celles dépendant du Conseil général de la Marne, l'utilisation des craies et graveluche du site avec traitement à la chaux et au ligex a été privilégiée, soit en couche de forme pour les accès lourds à la LGV et les voiries communales, soit en couche de base pour les autres accès.

Pour les voiries dépendantes du Conseil général de la Marne, des structures souples ont été réalisées avec couche de forme en matériaux granulaires (GNT B), couches de fondation et base en grave bitume et couche de roulement en béton bitumineux. Cependant, et afin de protéger les ressources naturelles en granulat, le projet a privilégié le principe de réutilisation, suivant le phasage des travaux, pour les couches de forme des ouvrages définitifs, des matériaux granulaires mis en œuvre en structure des déviations provisoires.

L'assainissement

L'hydraulique liée à la construction de la ligne LGV se décompose en quatre catégories :

- ◆ les ouvrages hydrauliques de traversée :
 - ces ouvrages permettent le transit, de part et d'autre de la plate-forme, des eaux des bassins versants naturels et éventuellement, des dispositifs de drainage longitudinaux,
 - sur le tronçon C, il a été fait usage de buses en béton armé (classes 135A à TMMB) de diamètre 800 mm à 2500 mm, et d'ouvrages rectangulaires en béton armé coulés en place, suivant les hauteurs de recouvrement disponibles entre les fils d'eau de ces ouvrages et les niveaux de la plate-forme ferroviaire ;
- ◆ les ouvrages dits de drainage longitudinal :
 - ces ouvrages recueillent les eaux de ruissellement de la plate-forme ferroviaire, des talus ainsi que les



Photo 5
Ouvrages
d'assainissement
*Drainage
structures*

eaux d'infiltration au niveau du dessous des structures d'assise de la ligne LGV,

- ces ouvrages sont constitués de fossés revêtus (de béton ou non) de forme trapézoïdale, de fossés bétons verticaux préfabriqués à barbacanes (essentiellement dans les déblais humides, i.e. : où le niveau de la nappe phréatique est proche du niveau de la plate-forme) ;

- ◆ les bassins et fossés diffuseurs :
 - ces ouvrages permettent de stocker temporairement les eaux avant leur rejet dans le milieu naturel, soit par infiltration, soit par diffusion,
 - dans le cadre des fossés diffuseurs, l'objectif est de recréer une diffusion dans le milieu naturel proche de celle qui existait avant la construction de la ligne ;
- ◆ les ouvrages de dérivation et de rescindement :
 - dans le cadre du tronçon C, il a été nécessaire de rectifier le cours de la rivière Vesle à Saint-Hilaire-au-Temple, en raison d'un cours existant très sinueux au droit du franchissement de la LGV. Afin de conserver un linéaire constant de la rivière, la rectification a été accompagnée de la création d'un méandre supplémentaire (photo 5).

Remodelage paysager et restitution à l'agriculture

Le traitement des matériaux de déblai mis en remblai a permis une optimisation du mouvement des terres. En conséquence, la partie résiduelle des matériaux non réutilisable étant minime, il n'a pas été nécessaire d'aménager de grands dépôts aux abords de la LGV, ce qui a ainsi réduit la nécessité de réaliser des remodelages paysagers.

Par contre, l'exécution des travaux de terrassement a dégagé un excédent inévitable de terres végétales. En effet, le décapage est réalisé sur une épaisseur de plus ou moins 30 cm sur l'assiette de la LGV (surface concernée par les terrassements) alors que la végétalisation des talus se fait par la mise en œuvre d'une couche de 10 cm sur une surface bien plus petite. Dès lors, les excédents de terres végétales ont été mis à la disposition des riverains conformément aux accords trouvés avec les collectivités locales dans le cadre notamment du remembrement.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Réseau Ferré de France (RFF)

Maître d'œuvre
Tractebel Development Engineering
- Coyne et Bellier

Architecte
Charles Lavigne

Entreprises
Groupement Roger Martin - Charrier
TP - Semen TP - Berthouly TP - Rabot
Dutilleul Génie Civil - SNCTP

Contrôle extérieur
CEBTP - SNCF Igoa - Socotec

Photo 6
Un pont-route
A road bridge



► ■ LES OUVRAGES D'ART COURANTS

Conception et description des ouvrages

Les conceptions retenues peuvent se regrouper en deux familles principales, les ouvrages de type cadre ou portique et les ouvrages multitravées.

Les ponts-routes

Compte tenu du nombre élevé de ces ouvrages, la standardisation a été poussée au maximum. En fait, le même type d'ouvrage a été décliné en fonction des paramètres propres à chaque franchissement : sol, biais et largeur utile de la voirie portée. Les tabliers sont donc majoritairement des dalles pleines en béton armé ou précontraint à trois travées, la travée centrale servant à dégager le gabarit LGV, les travées de rive franchissant les talus contigus à la LGV. Les tabliers obtenus ont ainsi des longueurs variant de 36 à 76 m pour des épaisseurs comprises entre 55 et 100 cm. Dans le cas de biais très prononcés (38 gr), des ouvrages à biais redressé à 60 gr étaient retenus moyennant un allongement des travées (photo 6).

Les ponts-rails

Pour les ouvertures droites modestes (7 à 10 m), les ouvrages sont de type cadre ou portique à une ou plusieurs ouvertures. Pour des brèches plus importantes, les structures retenues sont de type trois travées avec soit un tablier en dalle pleine (portées de 15 m pour une épaisseur de 1,00 m), soit deux tabliers bipoutres en béton armé (un tablier par voie - portées de 25 m pour une épaisseur de 2,00 m). Les piles et culées sont similaires à celles des ponts-routes, en étant renforcées pour celles reprenant les efforts horizontaux issus du tablier. Pour les deux ponts-rails franchissant des voies ferrées, chaque tablier est constitué d'une traverse en poutrelles enrobées appuyée sur des piédroits encadrant les voies. La plus grande portée est de 22 m et elle est franchie par des HEB800 espacés

de 74 cm et noyés dans une dalle de 95 cm d'épaisseur. Cette conception permet d'éviter tout étaie-ment au sol et limite les coupures de trafic SNCF pour l'exécution du tablier.

Pour ces deux ouvrages, les biais de franchissement étant très sévères (45 et 28 gr), les ouvrages ont été redressés de façon à atteindre un biais mécanique de 70 gr au prix de surfaces de tabliers inutilisées.

L'exécution des travaux

Les travaux ont démarré en juillet 2002.

Neuf formulations de béton

En tout, neuf formulations de béton ont été mises au point spécifiquement pour ce chantier. Cette diversité s'explique par la combinaison des paramètres suivants :

- ◆ les résistances caractéristiques à 28 jours : 28 MPa pour les fondations profondes, 32 MPa pour les semelles, les élévations et les tabliers et 40 MPa pour les tabliers précontraints ;
 - ◆ les classes d'environnement : 2b1 et 3 (gel/dégel et sels de déverglaçage) ;
 - ◆ les plasticités à atteindre : de très fluide pour les fondations profondes à ferme pour les perrés ;
 - ◆ les types de ciments : CEM III A (CHF) PM ES pour les fondations, CEM I (CPA) PM ES pour les élévations et CEM I (CPA) CE2 pour les tabliers.
- La mise au point a abouti à des dosages en ciment de 370 à 430 kg/m³. Conformément au marché, les granulats utilisés étaient classés non réactifs vis-à-vis de l'alcaliréaction. Les granulats, d'origine calcaire alluvionnaire, provenaient de Perthes dans la Meuse. Les bétons provenaient de quatre centrales fixes réparties le long du tronçon C, ce qui permet une durée moyenne de transport n'excédant pas 45 minutes.

Les principales techniques d'exécution

Les fondations

75 % des ouvrages sont fondés sur semelles superficielles ou radiers pour les cadres. A l'exécution des travaux, les fonds de fouille étaient conformes aux reconnaissances et seules quelques rares substitutions par gros béton ou par grave ont été nécessaires.

Pour certains ouvrages à proximité de voies exploitées, les semelles ont été exécutées à l'abri de blindages très peu déformables.

Les fondations profondes sont constituées de barrettes ou de pieux forés. Les barrettes – de section 2,50 x 0,62 m – ont une longueur de 12 m et ont été forées sous boue bentonitique à la benne guidée par *kelly*. Les pieux, de 1,00 m ou 1,20 m de diamètre et d'une longueur de 10 à 35 m, ont été forés au *bucket* à sec ou sous boue bentonitique (photo 7).



Photo 7
Forage des barrettes pour un pont-rail
Drilling supporting wall units for a railway bridge

Les élévations

Plusieurs types d'outils coffrants ont été utilisés :

- ◆ des banches classiques avec peau en contre-plaqué pour les murs et piédroits des ouvrages cadres ou portiques. Ces outils permettaient de bétonner en une phase des murs jusqu'à 9,50 m de haut ;
- ◆ plusieurs outils coffrants métalliques ont été spécifiquement fabriqués pour les nombreux fûts de piles des ouvrages multitravées ayant tous une géométrie similaire. Chaque outil comporte deux banches et deux joues de fermeture, les paramètres de hauteur, épaisseur et largeur étant réglables. Ces fûts ne dépassant pas 11 m de haut, ils étaient bétonnés à la pompe en une seule phase.

Les tabliers des ouvrages courants

Les traverses des cadres et portiques sont bétonnées en une phase sur étaie général à tours.

Les dalles des tabliers bipoutres en béton armé ou précontraint sont réalisées sur cintre appuyé, soit sur consoles brêlées en tête de piles, soit sur palées quand le brélage est impossible ou quand les travées sont plus longues. Le bétonnage s'effectue également en une phase et le décintrage des tabliers en béton armé a lieu généralement 5 à 7 jours après en vidant les boîtes à sable.

Concernant les deux tabliers à poutrelles enrobées, pour l'un des deux, les coupures simultanées du trafic SNCF sur les deux voies à franchir étant rares, une technique particulière a été mise au point de façon à ne mobiliser qu'une coupure :

- ◆ préparation au sol de quatre colis, chaque colis (80 t) est constitué de 10 HEB Ig 23 ml, des dallettes de fond de coffrage disposées entre les HEB et des armatures traversant les HEB ;
- ◆ pose des colis sous coupure SNCF avec une grue de 650 t en une nuit ;
- ◆ pose du solde des armatures ;
- ◆ bétonnage du tablier sous annonceur SNCF.

■ LES VIADUCS

Franchissement de l'A4 à Bussy-le-Château

Conception de l'ouvrage

Le franchissement de l'A4 présente un biais très important (23 gr). L'autoroute A4 est actuellement constituée de 2 x 2 voies de circulation, et l'ouvrage a été dimensionné en tenant compte d'un élargissement futur de l'A4 à trois voies de circulation dans chaque sens (photo 8).

En vue de limiter la longueur de l'ouvrage, et par conséquent son coût, il a été décidé de composer avec le biais sévère. La conception a été faite en limitant l'ouvrage à deux travées (une pour chaque

sens de circulation) avec des culées hautes proches des BAU de l'A4 élargie.

La longueur des ouvrages a ainsi pu être limitée à 97 m. Afin d'éviter la pose d'appareils de dilatation sur voies, les appuis fixes ont été placés sur la pile centrale, réduisant ainsi de moitié la longueur dilatable.

La recherche d'une optimisation des quantités de remblais au voisinage des ouvrages a conduit les concepteurs à abaisser au maximum le profil en long de la LGV. La solution retenue est du type à poutres latérales de hauteur constante à âmes pleines hyperstatiques sur les deux travées (type "RAPL"). Cette solution, outre sa simplicité, présente l'avantage d'une maintenance plus aisée durant la vie de l'ouvrage.



Photo 8
Viaduc sur l'A4
à Bussy-le-Château
en fin de lancement

Viaduct over the A4
at Bussy-le-Château
at the end
of launching

La mise en place de l'ouvrage ne peut se faire que par lancement au-dessus de l'A4. Le trafic autoroutier ne pouvant être interrompu, il y a eu par contre un basculement de la circulation sur deux bandes alternativement d'un côté et de l'autre en fonction de l'avancement du lancement.

Exécution de l'ouvrage

Les parties des structures métalliques (d'un poids maximum de 60 t) sont fabriquées en atelier, présentées en montage à blanc en partie puis peintes avant expédition par convoi exceptionnel. Les tronçons sont ensuite assemblés sur les remblais. Le lancement du tablier s'effectue classiquement sur chaises à galets avec un treuil de traction et un treuil de retenue, le tablier étant équipé d'un avant-bec, d'un arrière-bec et d'une queue de traction. Certaines chaises comportent huit galets pour une capacité maximale de 400 t. Les coffrages perdus et le ferrailage du tablier ont été mis en place avant lancement permettant ainsi de sécuriser les travaux de bétonnage du tablier devant être réalisés au-dessus de l'autoroute.

Après lancement et enlèvement des chaises à galets,

le viaduc est descendu de 1,50 m avant scellement des appareils d'appui à pot. Le tablier peut alors être bétonné en trois phases : un plot de 20 cm d'épaisseur correspondant à la première travée, un plot de 20 cm pour la seconde travée et enfin les 60 cm sur l'ensemble du tablier. Les deux premières phases se font sous basculement de la circulation de façon à s'affranchir du risque de coulure de laitance sur des voies circulées.

Franchissement de la RN3

Conception

Cet ouvrage permet le franchissement de la RN3 à deux voies ainsi que du chemin d'exploitation latéral. Comme il était possible de dévier le trafic sur les routes nationales, une conception d'ouvrages entièrement coulés en place a donc été privilégiée. Un ouvrage monolithique présente en effet l'avantage d'être simple à réaliser et à entretenir (pas de peinture, ni joints, ni appareils d'appuis).

Le choix s'est porté sur des ouvrages de type portiques à rives renforcées en béton armé. Cet ouvrage est constitué de piédroits et piles, d'un tablier en béton de 1,20 m d'épaisseur et de poutres de rives latérales de 3,40 m de hauteur. Ce type de conception permet de rigidifier fortement le tablier. Celui-ci se comporte dès lors comme une dalle portant dans les deux directions s'appuyant d'une part sur les piédroits et sur les poutres latérales d'autre part. Les calculs ont démontré l'excellent comportement dynamique de ces ouvrages offrant une grande rigidité.

Les biais de franchissement de l'ouvrage est de 28 gr, valeur élevée, mais pour laquelle l'option de portiques à biais redressés aurait conduit à des surlongueurs trop importantes d'ouvrages et à de grandes surfaces de tabliers inutilisées et d'entretien malaisé. Il a donc été décidé de composer avec le biais et de ne pas redresser l'ouvrage.

D'un point de vue esthétique, les corniches architecturales communes à l'ensemble des ouvrages du tronçon ont été insérées dans les poutres latérales. Le choix de piles discontinues allège visuellement l'aspect de l'ouvrage.

Exécution de l'ouvrage

Le tablier est bétonné sur étalement général à tours suivant le phasage suivant :

- ◆ bétonnage en une seule phase de la dalle (880 m³);
- ◆ bétonnage des poutres latérales;
- ◆ désétalement.

ABSTRACT

East European High-Speed Train Line - Section C. The civil engineering structures for work section 23B

D. Friot, S. Gilson, E. Waffelaert

The article describes the civil engineering structures for work section 23B of section C.

These structures consist chiefly of earthworks performed in chalk, but also the materials forming the railway structure, drainage systems, the restoration of road systems cut or displaced by the project, and engineering structures which are necessary to cross the infrastructure encountered, or to enable the various roads to cross the High-Speed Train Line.

The article explains in particular the treatment that had to be performed for recycling of the chalk as backfill with the various constraints this involved. It also describes the drainage system and the types of engineering structures that were adopted for the various crossings.

RESUMEN ESPAÑOL

Línea de Alta Velocidad Este europea - Tramo C. Las estructuras de ingeniería civil del lote 23B

D. Friot, S. Gilson, E. Waffelaert

En este artículo se presentan las estructuras de ingeniería civil del lote 23 B del tramo C.

Estas estructuras están compuestas, principalmente, por los movimientos de tierras ejecutados en la creta, así como también los materiales componentes de la estructura ferroviaria, del drenaje, del restablecimiento de las vías públicas atravesadas o desplazadas por el proyecto, así como los puentes y estructuras que se precisan para dar paso a las infraestructuras atravesadas, o bien, para permitir a las diversas vías de salvar la LAV.

En este artículo se entra en detalles acerca, fundamentalmente, de los tratamientos que se han tenido que ejecutar con miras al reemplazo de la creta en terraplenes y ello con los distintos imperativos correspondientes. También se describe el sistema de drenaje, así

como los tipos de estructuras que se han adoptado para los diversos pasos y travesías.

Le lot 24 : de la Champagne humide au plateau calcaire du Barrois

Le lot 24, d'une longueur de 38,8 km, se développe dans les départements de la Marne et de la Meuse entre les communes de Tilloy-et-Bellay et de Nubécourt. La morphologie peu accidentée des secteurs traversés et l'habitat clairsemé permettent à la LGV de s'écarter significativement de la plupart des villages, tout en respectant les valeurs géométriques nominales; aucune courbe de rayon exceptionnel n'est utilisée tant pour le tracé en plan que pour le profil en long. Seul, le hameau de Grigny se situe à moins de 500 m de l'axe de la ligne.

La transparence du projet est assurée par 31 ouvrages d'art courants qui se décomposent en 22 ponts-routes et 9 ponts-rails. Ils permettent le franchissement ou le rétablissement :

- de 11 routes départementales,
- de 14 voiries communales ou chemins d'exploitation,
- de 6 rivières.

Le déplacement de la petite et de la grande faune est assuré par trois ouvrages spécifiques dont un ouvrage exceptionnel de 30 m de largeur, deux ouvrages mixtes en pont-route et quatre passages couplés à des ouvrages hydrauliques.

Ce lot complexe dès la conception, notamment par la variété des sols rencontrés (caractères compressibles, gonflants, sensibles à l'eau), a permis une large utilisation des techniques de terrassement :

- montée en phase et instrumentation des remblais sur zones compressibles, valorisation des matériaux par élaboration et traitement des sols.
- utilisation de décapeuses, de pelles à grand rendement associées à des tombereaux ou à des camions 8 x 8 pour les transports "longue distance" par la piste afin de préserver le réseau routier sous-dimensionné pour ce type de circulation.

La réactivité de la maîtrise d'œuvre génie civil, les moyens matériels et humains du groupe, et la saison sèche 2003 très favorable aux terrassements ont conduit à réceptionner le lot début juillet 2004, et donc d'assurer au maître d'œuvre équipements ferroviaires un début de ses travaux conforme au calendrier directeur.

■ CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

D'un point de vue géologique, le lot 24 marque la transition entre les formations du Crétacé supérieur (Coniacien - Turonien) et du Jurassique (Portlandien) de l'est du bassin de Paris. Ainsi, le début du projet recoupe les craies massives blanches du Coniacien et Turonien supérieur. Ces craies de densité moyenne sont classées. Elles constituent un bon matériau de remblai, avec ou sans traitement au liant et une bonne assise pour les fondations d'ouvrage.

Puis, après avoir traversé les craies marneuses du Turonien inférieur et du Cénomaniens moyen et supérieur, le projet rejoint, dès le PK 183, les formations sablo-argileuses du Cénomaniens (sables verts), de part et d'autre de la vallée de l'Ante.

Le fond de cette vallée est tapissé d'alluvions anciennes et récentes, localement compressibles.

Vers l'Est, la ligne traverse successivement deux formations caractéristiques : la gaize d'Argonne et les argiles de Gault. La gaize d'Argonne de l'Albien supérieur se présente en successions stratigraphiques qui vont d'un pôle argileux à un pôle siliceux. Ce dernier faciès se présente sous forme d'une roche tendre, de densité faible (1,2 environ), poreuse et perméable donc fortement gélique.

Les argiles de Gault de l'Albien moyen sont des argiles glauconieuses, très plastiques (A3, A4) sensibles au gonflement et présentant de faibles caractéristiques mécaniques. Elles obligent ainsi à une protection systématique des talus par masque drainant et à leur imperméabilisation en arase de déblai.

Deux dépressions sont traversées dans ce sec-

Daniel Chazelle



CHEF DU CENTRE
OPÉRATIONNEL
DE BAR-LE-DUC
Ingénierie SNCF - MOEGC
groupement SNCF - Arcadis

Alain Delhomel



CHARGÉ TECHNIQUE
DU CENTRE OPÉRATIONNEL
DE BAR-LE-DUC
Ingénierie SNCF - MOEGC
groupement SNCF - Arcadis

Nathalie Lafuente



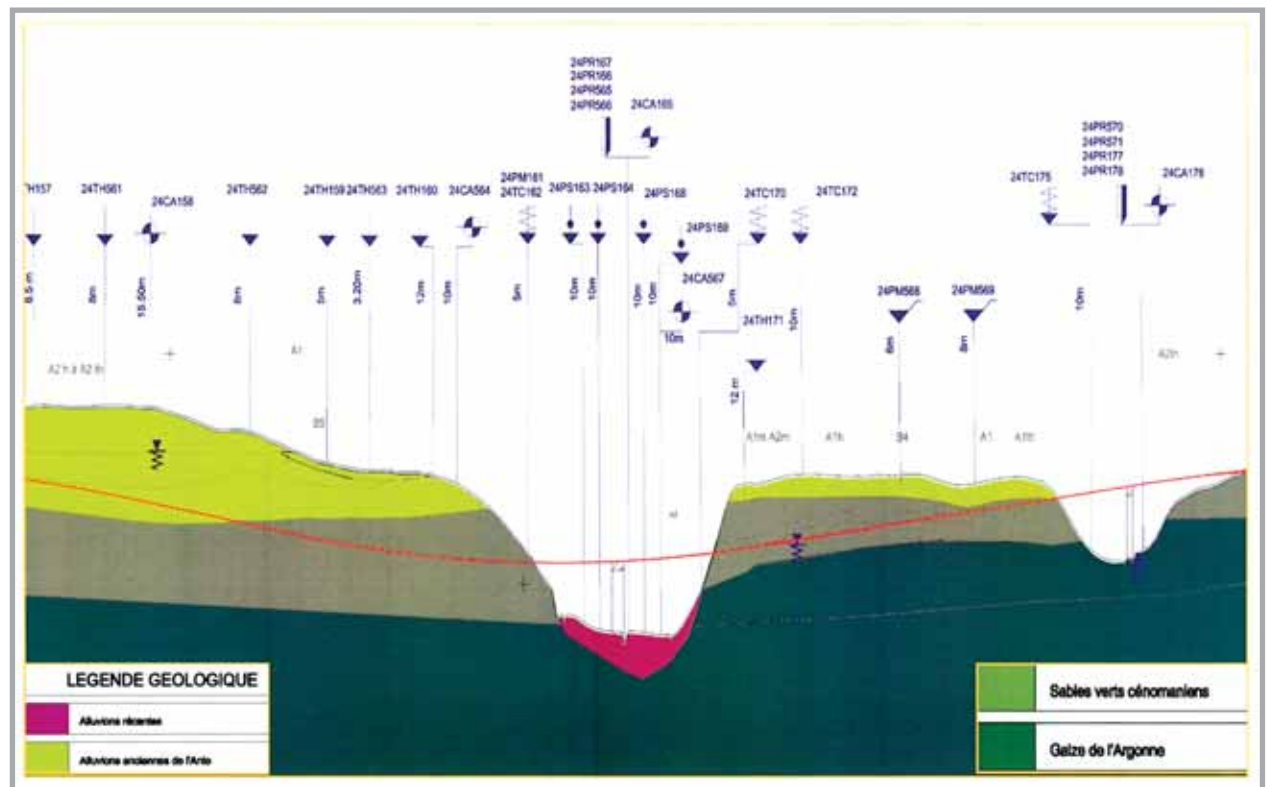
RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT DU
CENTRE OPÉRATIONNEL
DE BAR-LE-DUC
Ingénierie SNCF - MOEGC
groupement SNCF - Arcadis

Rémy Laville



DIRECTEUR
Groupement Bec - Muller -
Demathieu et Bard

Figure 1
Extrait de la maquette
géotechnique du lot 24
Excerpt from the geotechnical
model of work section 24



► teur : la vallée de l'Aisne et la vallée du Thabas, tapissées d'alluvions modernes compressibles, reposant sur le substratum argileux. Vers la fin du tronçon, le projet recoupe les sables verts de l'Albien inférieur, sables siliceux fins, souvent argileux, du jaune verdâtre au vert très foncé selon le pourcentage de glauconie renfermé. Leur base est marquée par un mince niveau très argileux, souvent oxydé, rouille et leur toit est très argileux. Ils renferment généralement de nombreux nodules phosphatés. Enfin, en extrémité de lot, la ligne rejoint les calcaires du Portlandien, dans lesquels on distingue trois faciès : les calcaires à débris qui sont un mélange de calcaires fins, micritiques, clairs et de calcaires argileux gris à gris bleu, la pierre châline (argiles grises ou noires à exogyres encadrées par des calcaires lumachelliques) qui constitue un bon repère stratigraphique et les calcaires cryptocristallins qui sont un ensemble de calcaires argileux, souvent fossilifères (figure 1).

■ ENJEUX

Risques géologiques, chemin critique des vallées compressibles

L'analyse du contexte géologique du lot 24 a permis d'identifier les risques prévisibles d'origine géologique. Si ces risques peuvent affecter les différentes natures d'ouvrages concernées par le lot TOARC, c'est principalement les terrassements et les fondations d'ouvrages d'art qui peuvent être perturbés par la rencontre d'aléas d'ordre géologique. Pour les terrassements, les principaux risques identifiés concernent :

- ◆ la réutilisation des matériaux dans un délai de réalisation ne comprenant qu'une seule saison sèche complète ;
 - ◆ la stabilité des talus de déblai dans les sols fins de la partie centrale du lot et dans les sables verts à l'est ;
 - ◆ et surtout la compressibilité des sols dans les vallées de l'Aisne et du Thabas.
- Pour les ouvrages d'art, c'est principalement le système de fondations qui peut être affecté par la survenance d'un aléa géologique, mais en dehors des zones compressibles, ce risque a été considéré comme ayant une faible probabilité. Enfin, la découverte de cavités artificielles ou naturelles peut constituer un risque majeur en terme de coût et de délai. Ce risque fait l'objet d'une analyse particulière. Concernant la réutilisation des sols, la craie rencontrée dans la première partie du lot est un matériau bien connu, son taux de réutilisation est souvent élevé avec utilisation du traitement au liant ; le risque lié à la nature et à l'état hydrique de ces matériaux affecte principalement les quantités de liant nécessaires. Par contre, pour les matériaux rencontrés depuis la vallée de l'Ante jusqu'aux assises calcaires de l'extrémité Est, les conditions de réutilisation sont plus sujettes à aléas. Leur identification est complexe et les paramètres géotechniques présentent une grande variabilité. Par exemple, les gaizes peuvent avoir des faciès très différents : sable limoneux A1, argile sableuse A2/A3, roche tendre et peu dense. Le contact entre les gaizes et le faciès altéré des argiles de Gault est difficilement identifiable. De plus, la totalité de ces matériaux fins est sensible à l'eau, ce qui rend la réutilisation fortement dépendante des conditions météorologiques.

A l'extrémité Est du lot, les conditions de valorisation des calcaires à débris du Portlandien constituent un enjeu fort pour l'équilibre du mouvement des terres.

Dans le secteur central du lot, les caractéristiques des sols traversés en déblai, sont généralement faibles et susceptibles d'évoluer superficiellement. Pour assurer la pérennité des talus, des masques de protection et drainants ont été prévus en fonction des conditions hydrogéologiques prévisibles. Les conditions réellement rencontrées à l'ouverture des déblais peuvent conduire à une variation importante des volumes de masque.

Concernant les vallées compressibles de l'Yèvre et de l'Ante de faible étendue, les solutions retenues (purge et substitution en matériaux drainants) ont permis de limiter les risques aux conditions de réalisation (maîtrise des venues d'eau) et aux volumes de purge en fonction de la profondeur du substratum. Par contre, pour les vallées de l'Aisne et du Thabas, leur étendue importante et la présence de la frange altérée des argiles de Gault sous les alluvions ont conduit à retenir des solutions techniques présentant plus d'aléas vis-à-vis des délais de consolidation. Les dimensionnements retenus (préchargements et drains verticaux) ainsi que les différentes phases nécessaires pour la construction des ouvrages notamment dans la vallée de l'Aisne (deux ouvrages trois travées avec interdiction par la MISE de buser l'Aisne) ont conduit à un planning critique. Le risque lié à la vitesse de consolidation des sols est dans ce cas précis très fort, et peut présenter des impacts importants en terme de délai si des solutions de rattrapage ne peuvent pas être mises en œuvre.

Enjeux environnementaux

Traversée de l'Argonne méridionale (entre Marne et Meuse)

Le lot 24 traverse la partie méridionale de l'Argonne, installée dans une dépression argileuse et marquée par un paysage de prairies et semi-bocage. Outre la rivière Aisne et ses affluents, le sud de l'Argonne comprend de nombreuses zones en eau (étangs, mares...) qui lui confèrent les mêmes caractéristiques que la Champagne humide à l'ouest. Le tracé, en passant par cette trouée naturelle, évite ainsi :

- ◆ au nord, le massif forestier de l'Argonne assis sur un relief marqué, réservoir important pour la grande faune ;

- ◆ au sud, sur un relief doux, des forêts plus humides (bois des Horgnes) abritant de petits étangs intraforestiers.

L'Argonne méridionale, mosaïque de milieux humides forestiers et prairiaux, accueille une faune et une flore très diversifiée qui en fait une région remarquable, très sensible de par sa richesse écologique. Elle fait l'objet de plusieurs classifications.

Le bois des Horgnes que le tracé tangente en partie nord est inclus dans la ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique) "Massif forestier et étangs de Belval, n° 02026."

Cet espace s'inscrit plus largement au niveau :

- ◆ européen, dans la ZICO des étangs de Champagne humide (Zone d'importance pour la conservation des oiseaux) ;

- ◆ international, dans la convention RAMSAR (1971 : constitution d'un réseau de zones humides) dans



LES CAVITÉS

La démarche générale, suivie sur l'ensemble des tronçons dont le groupement de maîtrise d'œuvre SNCF-Arcadis a la charge, se compose de deux parties distinctes : avant-projet ou démarche exploratoire et suivi de travaux.

La démarche exploratoire s'est déroulée en trois phases principales.

La première phase a consisté en une recherche bibliographique et une étude géologique générale sur l'aspect des cavités, associées à des reconnaissances mécaniques, visuelles et aériennes (photo-interprétation). Cette compilation d'informations a permis d'établir un zonage de risque selon l'origine des cavités (naturelles ou artificielles) à proximité du projet.

Basées sur ce zonage, des investigations spécifiques complémentaires ont été réalisées par des reconnaissances géophysiques associées à la vérification des indices par forages destructifs.

L'ensemble de ces informations a permis d'établir un document synthétique qui définit les zones à risques (moyens, importants, très importants...) ainsi que les bases des dispositions constructives de reconnaissances et de traitements à mettre en œuvre en phase travaux (définition des zones de géophysique, de perforation systématique ou d'imperméabilisation).

La démarche générale en phase travaux se déroule en trois phases.

La première consiste à réaliser une inspection visuelle par reconnaissances pédestres systématiques après décapage, en fond de déblai et fond de purge. Ces reconnaissances ont pour but de couvrir l'intégralité du linéaire de terrassement et permettent de valider l'absence d'anomalie pour la poursuite des travaux, et d'identifier de nouveaux indices, notamment en zones de déblai. Ces recon-

naissances pédestres sont couplées à des reconnaissances aériennes avec prise de vue qui permettent d'élargir le champ visuel des investigations.

Ces reconnaissances visuelles sont ensuite complétées par des reconnaissances géophysiques dans les zones prévues initialement (risque important et très important) ainsi que dans les zones nouvelles identifiées en phase travaux. Ces reconnaissances géophysiques sont adaptées au type de cavités recherchées ainsi qu'au contexte géologique présent. Il s'agit de coupler plusieurs méthodes géophysiques entre elles, à savoir essentiellement des méthodes micro-gravimétriques, électriques (radar géologique et/ou EM) et sismiques. Les anomalies identifiées font l'objet d'une vérification par sondages mécaniques (pelle mécanique ou sondages destructifs).

Dans les zones de cavité franche avérée, une perforation systématique des terrains selon un maillage défini (9 m² ou 25 m²) est mise en œuvre. Le comblement des anomalies identifiées est ensuite réalisé par remplissage gravitaire et potentiellement par clavage des terrains. La réalisation de barrages est envisagée afin de ne concerner, en comblement, que la zone d'emprise du projet et limiter au maximum les fuites en dehors de cette emprise (zones de carrière par exemple).

Dans le cas où le comblement de la cavité ne serait pas adapté (raisons hydrauliques par exemple) ou pas possible, d'autres solutions constructives sont envisagées telles que le franchissement de la zone de cavité par une dalle en béton armé par exemple. L'imperméabilisation prévue initialement est étendue aux nouvelles zones détectées lors des travaux afin d'empêcher la dissolution des formations sous-jacentes lors de l'exploitation de la ligne.



Photo 1
Tritons crêtés lors de l'opération de sauvegarde des batraciens en juin 2002

Crested salamanders during the batrachian safeguard operation in June 2002

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TRONÇON D

Localisation

Le tronçon D s'étend sur 63 km sur la Champagne-Ardenne et la Lorraine, respectivement entre Tilloy-et-Bellay dans la Marne (51) et Bannancourt dans la Meuse (55). Il comprend deux lots Terrassement ouvrages d'art rétablissement de communication (TOARC) à dominance terrassement :

- lot 24 : 39 km - marché de 75,6 M€ attribué à Bec (mandataire) et Demathieu et Bard (cotraitant) ;
- lot 31 : 24 km - marché de 74 M€ attribué à Fougerolle Ballot (mandataire), Forézienne d'Entreprises, Eiffage TP, SCR Marne (cotraitants).

Le tronçon D en quelques chiffres

- 55 ouvrages d'art, dont 22 ponts-rails
- 31 ponts-routes
- 2 viaducs
- 44 000 m³ de béton
- 9,7 Mm³ de déblai
- 7,1 Mm³ de remblai
- 431 000 m³ de couche de forme
- 185 000 m³ de sous-couche

Le montant global du génie civil du tronçon D s'élève à : 186 M€ (CE 2001)

laquelle le site des étangs de Champagne a été notifié en 1991.

Les batraciens

Sur la commune de Le Chemin, la LGV Est passe à proximité du ruisseau du Hardillon sur un réseau de cinq mares-abreuvoirs abritant des batraciens protégés au niveau national : tritons crêtés, palmés et alpestrés.

Le triton crêté (photo 1) est en régression sur l'ensemble de son aire de répartition. Il est, de plus, inscrit à l'annexe 2 de la directive européenne de 1992 dite "Habitats". A ce titre, une demande d'autorisation de déplacement d'espèces animales protégées a été lancée auprès des services de l'Etat pour sauvegarder les batraciens.

L'autorisation préfectorale a permis de reconstituer, en automne 2001, à proximité de la LGV, de nouvelles mares de substitution et de procéder en juin 2002 à l'opération de déplacement des tritons dans les nouveaux milieux créés (végétalisation réalisée à partir de prélèvements sur les mares existantes). L'opération réalisée par le bureau d'études Ecolor a permis de sauvegarder une trentaine de tritons adultes dont treize crêtés.

Deux ouvrages (buses en béton préfabriqué) sous le remblai permettent le déplacement de ces espèces entre les différentes mares. De petits fossés spécifiques assurent un relais biologique entre les ouvrages et les mares.

TERRASSEMENTS

Spécificités du chantier

Les contraintes

La longueur importante du lot 24 (près de 40 km) rend complexe le suivi du chantier et la gestion de ses aléas. Le ratio "m³/km" est relativement faible. En effet, 4 millions de m³ de déblais sur 40 km est plutôt inhabituel et témoigne d'un tracé rasant avec des buttes peu importantes et donc des contraintes spécifiques sur les moyens et les méthodologies de travail :

- ◆ importance de la précision du levé de terrain naturel ;
- ◆ gros impact des charges liées au respect des étapes successives de la réalisation et qui restent fixes quel que soit le volume remué (implantation, préparation de terrain, points d'arrêt...);
- ◆ nécessité de bien maîtriser les plans d'exécution avant le démarrage des travaux (risque du hors profil) ;
- ◆ impossibilité de faire travailler plusieurs échelons dans une même butte sans entraîner une hausse importante du coût d'exploitation ;
- ◆ productivité moyenne du fait des conditions de chargement et de circulation qui sont rarement optimales ;

- ◆ importance des pistes de chantier, du phasage de leur construction et de l'analyse des modes de circulation.

Le peu d'emprises pour réaliser les travaux (4 à 5 m environ, au-delà des entrées en terre, qui correspondent, la plupart du temps, à l'emplacement d'assainissements ou de confortements) conduit à une obligation pour les circulations de chantier, soit de rester dans l'assiette des travaux, soit de recourir à des occupations temporaires de terrains riverains.

Le lot se divise en trois parties de natures géologiques radicalement différentes. Elles ont chacune fait l'objet d'une approche technique spécifique et, d'ouest en est, se composent comme suit :

- ◆ la première zone du PK 168 au PK 183, en Champagne pouilleuse, est constituée pour l'essentiel de craies, plus ou moins humides, et de limons éoliens. Caractéristique d'un chantier de "sols fins", elle ne présente pas de difficultés techniques particulières. C'est dans cette partie que le chantier a pu mettre en œuvre des moyens dits "grandes masses" (échelons de décapeuses et de grosses pelles) (photo 2) ;

- ◆ la deuxième zone du PK 183 au PK 198, traverse le pays d'Argonne. Très chahutée et fortement boisée, rendue tristement célèbre par les combats qui s'y déroulèrent lors de la Première Guerre mondiale, cette région, dont les habitants qualifient la terre "d'amoureuse" est sillonnée par les vallées de l'Ante, de l'Aisne, du Hardillon et du Thabas qui constituent, sans nul doute, autant d'obstacles naturels et majeurs au passage de la LGV. Les travaux se déroulent au voisinage de ces cours d'eau avec des contraintes environnementales pour les franchissements, dérivations, pompes et rejets. C'est cette partie du chantier qui présente les plus grosses difficultés techniques de réalisation et les risques les plus importants en terme de délai. En effet, les durées de consolidation des assises de remblai pouvant atteindre 16 mois (pour un chantier d'une durée globale de 24 mois), les travaux se situent, dans leur grosse majorité, sur le chemin critique du planning général (photo 3) ;

- ◆ la dernière zone, en partie Est, du PK 198 au PK 207, se caractérise par un relief qui s'accroît doucement et qui annonce le plateau calcaire du Barrois. Cette partie doit constituer, en démarrage de chantier, un gisement en matériaux rocheux utilisés à des fins nobles pour la réalisation des dispositions constructives des vallées inondables et compressibles.

Un besoin important s'est avéré en matériaux granulaires de provenance extérieure. Pour réaliser les masques et éperons, bases drainantes des remblais, enrochements, blocs techniques des ponts-rails, couches de forme et sous-couche, il aura fallu acheminer par la route, depuis les carrières de Meuse, de Haute-Marne, et même des Vosges, environ

1 600 000 t de matériaux ce qui représente plus de 30 % du volume total des remblais (photo 4). Le mouvement des terres est fortement excédentaire (déblais 4,2 Mm³, remblais 2,3 Mm³) en raison de la qualité des matériaux du site et de leur inaptitude à la réutilisation. Ce point particulier a conduit à l'ouverture et à la gestion de nombreux dépôts en bordure du tracé. Chacune de ces zones utilisées à cette fin a fait l'objet d'un projet spécifique validé par chaque propriétaire et par la Chambre d'agriculture, d'une intervention préalable de l'INRAP (Institut national de recherches archéologiques préventives), et d'une étude agro-pédologique des matériaux constituant l'horizon agricole. Ce dernier point a pour objectif de garantir une restitution à l'identique, des terrains occupés temporairement. Les distances de transport sont importantes (jusqu'à 20 km), sur la moitié Est du chantier, en raison des réutilisations complexes de matériaux et de dépôts éloignés. Cette difficulté s'est accrue en raison de l'impossibilité d'emprunter le réseau des voiries locales, des problèmes de traficabilité rencontrés dans les terrains de l'Argonne, et des nombreux (environ un par kilomètre) contournements ou franchissements d'ouvrages en cours de construction.

Peu d'accès routiers sont appropriés. Sur les 40 km, seule une route départementale (la RD 982) est dimensionnée pour supporter le trafic lourd des convois de matériel et des fournitures de matériaux de provenance extérieure. Tous les approvisionnements doivent donc respecter des points d'entrée limités, définis précisément et suivre des cheminements utilisant prioritairement des pistes de chantier construites sur la trace de la LGV.

Déroulement du chantier

Dès le printemps 2002 le groupement d'entreprises Bec - Muller TP - Demathieu et Bard a mis en place une structure et des moyens humains et matériels pour réaliser les gros terrassements en été 2002 avec comme priorités :

- ◆ réalisation au plus vite des remblais et des surcharges dans les zones compressibles, afin de lancer les consolidations de sols ;
- ◆ investigations géotechniques dans les déblais stratégiques en terme de réutilisation et de valorisation de matériaux ;
- ◆ démarrage des travaux liés à l'ouvrage d'art passage grande faune exceptionnel de 30 m qui doit être terminé pour l'été suivant ;
- ◆ démarrage rapide dans la zone des 18 premiers kilomètres, d'une approche technique plus simple et objet d'un délai partiel.

L'effectif moyen du chantier est d'environ 550 personnes pour 250 machines en terrassement, et une dizaine de grues en ouvrage d'art.

A l'été 2002, il y avait trois échelons de décapeuses, quatre échelons de grosses pelles, trois échelons de pelles moyennes, six ateliers de traitement, 40



Photo 2
Remblai
n° 24505
Backfill
No. 24505



Photo 3
Déblai n° 24526,
extraction des sables
gris vert
Earth cut No. 24526,
extraction of grey-green
sands



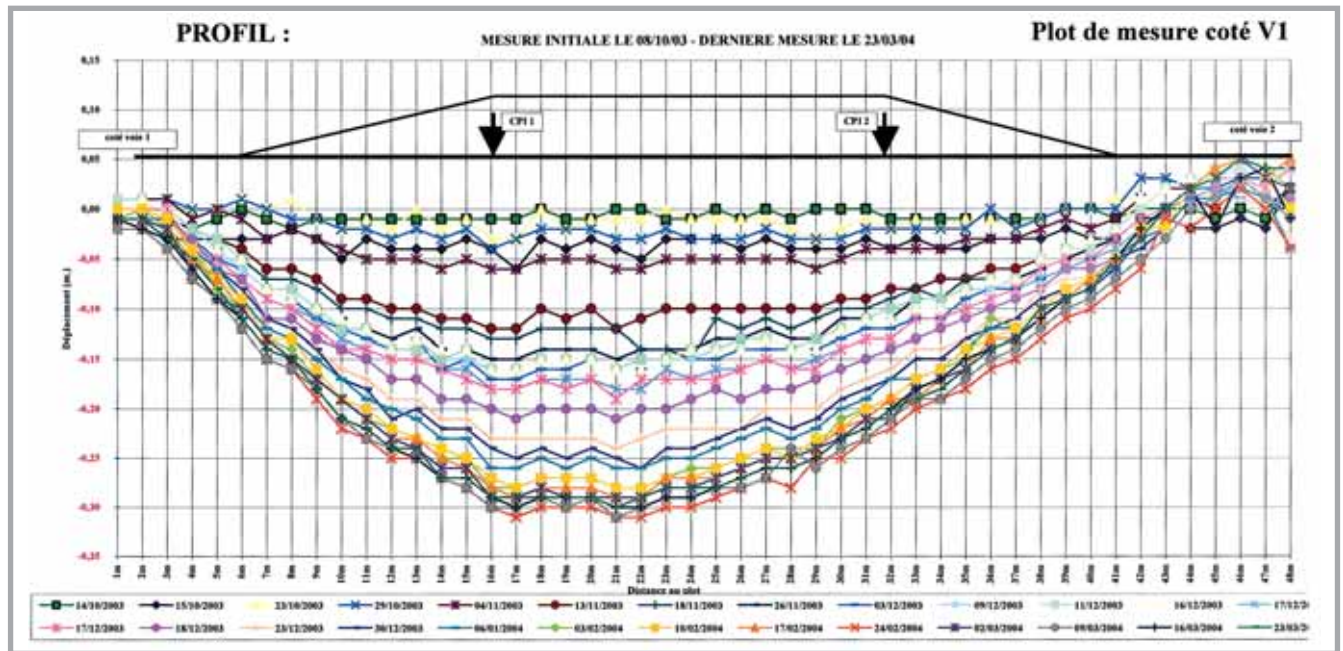
Photo 4
Déblai n° 24533,
redans et masque
drainant
Earth cut
No. 24533,
keyways
and draining facing
membrane

camions 8 x 8 pour les transports longue distance, plus tout le matériel d'accompagnement et de servitude.

La campagne terrassement de 2002 fut difficile en raison d'un décalage du démarrage des travaux et de la perte partielle de la saison d'été :

- ◆ contraintes archéologiques importantes ayant une incidence sur le début de la construction des installations de la base vie du chantier et sur

Figure 2
Suivi des tassements
remblai de l'Aisne
Monitoring of subsidence,
Aisne backfill



les délais d'ouverture des dépôts de l'entreprise ;
 ◆ anomalies géologiques et dispersion entre des caractéristiques de matériaux attendues et celles finalement rencontrées. Ces faits ont eu une conséquence directe sur les hypothèses de réutilisation et par la suite sur l'organisation et la planification qui y étaient associées ;

◆ conditions climatiques peu favorables dans l'arrière saison (septembre - octobre).

L'hiver 2002-2003 fut rigoureux avec des périodes de gel, de neige, et de barrières de dégel mises en place par les gestionnaires des voiries locales rendant toute activité sur le chantier impossible.

Dès le printemps 2003, après avoir procédé à une adaptation des moyens de terrassement :

◆ renforcement des échelons d'articulés et maintien des camions 8 x 8 ;

◆ renforcement des équipes chargées des travaux de plate-forme (de juin 2003 à mai 2004, quatre ateliers d'approvisionnement et réglages guidés par système GPS ou théodolite robotisé auront travaillé sans discontinuer pour finalement régler 3 millions de m²), le chantier a mis à profit des conditions météorologiques exceptionnelles pour rattraper le retard accusé en 2002 et revenir dans une planification qui permettra de livrer, dans les conditions de qualité requises, les 18 premiers kilomètres en janvier de l'année 2004 et les 21 suivants au mois de juin de la même année.

Il faut noter la défaillance, début 2003, de l'entreprise Muller TP qui, sur le chantier du lot 24, représentait environ 40 % des effectifs en personnel et matériel pour les terrassements, et 20 % en ouvrage d'art.

Des dispositions particulières accompagnèrent la sécheresse de l'été 2003 : création et agrandissement de bassins tampons récupérateurs pour accroître les ressources en eau, renforcement des dispositifs d'arrosage et amélioration de leur efficacité, contrôle strict des teneurs en eau des matériaux constituant les remblais et humidification éventuelle ; pour les ouvrages d'art : bétonnages de nuit.

Les vallées compressibles et inondables

Le tracé du lot 24 rencontre quatre vallées compressibles dont les plus importantes sont les vallées de l'Aisne et du Thabas s'étendant sur un linéaire d'environ 800 m et 1 500 m.

La vaste vallée de l'Aisne est recouverte d'alluvions récentes sur une épaisseur d'environ 2,5 m sur sa moitié ouest et jusqu'à 6 m d'épaisseur sur sa moitié est. Ces dépôts quaternaires constitués de limons argileux pouvant contenir quelques éléments organiques reposent sur la frange altérée des argiles de Gault d'épaisseur variable (1,00 m à 5,50 m). Ces alluvions à caractère moyennement à fortement compressible ont fait l'objet d'une purge de 1,00 m d'épaisseur substituée par des matériaux drainants sur l'ensemble de la zone, en dehors de l'ouvrage de décharge où elle a été approfondie, et du curage de la rivière.

En fonction des épaisseurs des alluvions non purgées et de la frange altérée des argiles de Gault, différents secteurs ont alors été distingués pour lesquels les dispositions constructives suivantes ont été adoptées :

- préchargement ;
- montée du remblai en une ou deux phases ;
- mise en œuvre ou non de drains verticaux dans le but d'accélérer le processus de consolidation des sols supports. Les drains plats en polypropylène ont été exécutés par fonçage jusqu'au refus selon un maillage carré variant de 1,50 m à 2,50 m. Dans la zone de la rivière de l'Aisne, des dispositions particulières ont été retenues pour la construction du remblai entre l'ouvrage permettant le franchissement de la dérivation de l'Aisne et le cours d'eau dont le busage n'était pas autorisé. Ainsi, la construction d'un talus subvertical côté berge a été rendu possible grâce au renforcement du remblai par l'intercalation de nappes de géotextile et a permis un préchargement au plus près de la rivière et en conséquence la consolidation des sols d'assise sous le futur ouvrage.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Terrassement

- Déblais : 4 200 000 m³
- Remblais : 2 300 000 m³
- Dépôts : 1 900 000 m³
- Traitement des sols : 1 400 000 m³
- Purges : 340 000 m³
- Couche de forme : 260 000 m³
- Sous-couche : 115 000 m³
- Fournitures RFF : 260 000 m³
- Fournitures entreprises : 470 000 m³

Ouvrages d'art

- Ponts à 3 travées : 22
- Portiques : 6
- Cadres : 3
- Béton : 19 000 m³
- Aciers : 2 000 t

Hydraulique

- Ouvrages hydrauliques : 100
- Fossés terre : 58 km
- Fossés terre revêtus : 18 km
- Drainage profond : 10 km

Chaussées

20 km

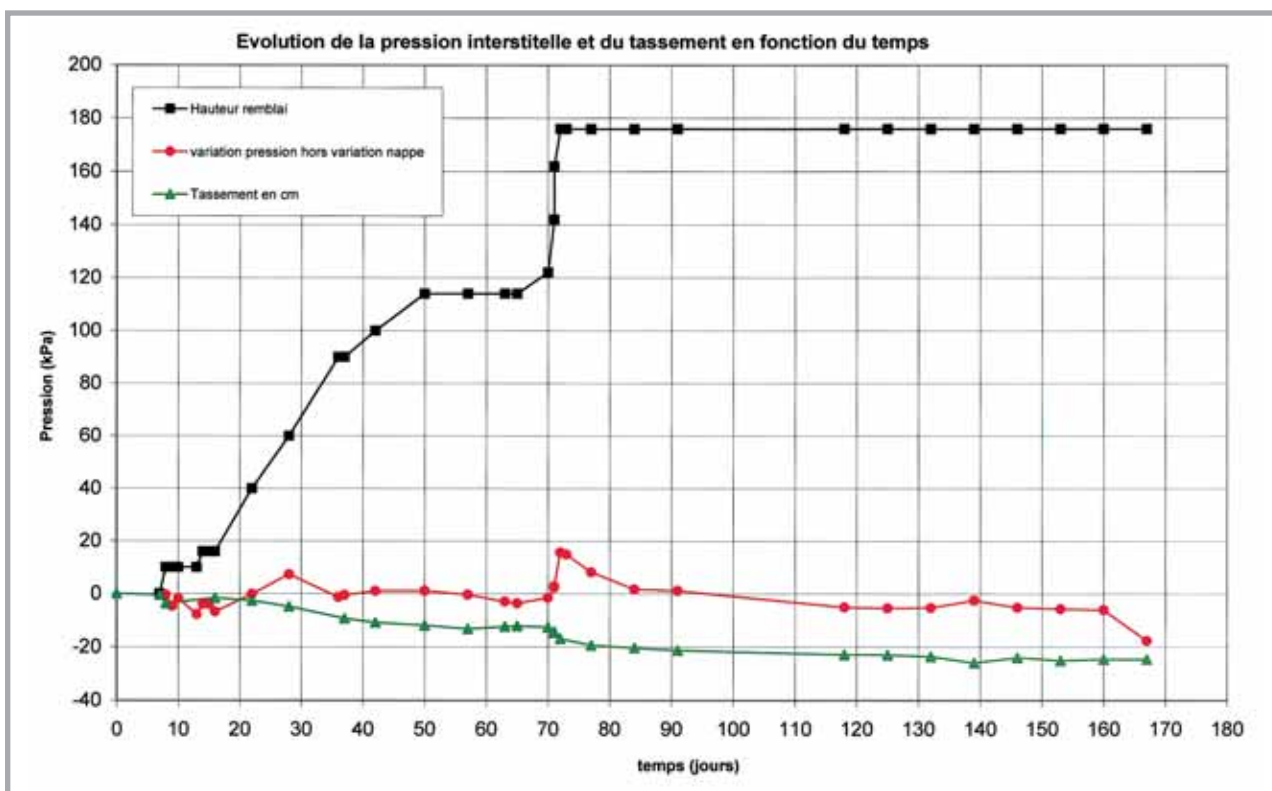


Figure 3
Evolution de la pression
interstitielle
et du tassement
*Evolution of interstitial
pressure and subsidence*

Les sols supports des remblais des vallées compressibles de l'Yèvre, de l'Aisne et du Thabas ont été instrumentés par la pose :

- ◆ de profilomètres pour suivre l'évolution des tassements et estimer les tassements et les degrés de consolidation in fine ;

- ◆ de cellules de pressions interstitielles (CPI) permettant de suivre l'évolution des surpressions interstitielles générées par la montée du remblai. Un seuil d'alerte a été défini correspondant à une évolution de 60 % de la charge appliquée.

Enfin, le suivi des pressions interstitielles en corrélation avec l'évolution des tassements et l'estimation du taux de consolidation permettent d'autoriser la poursuite de la montée du remblai ou l'enlèvement de la surcharge (figures 2 et 3).

Recherche d'indices de cavités

Dans le cadre des travaux de terrassement du lot 24, des reconnaissances pédestres après décapage sous les remblais et en fond de déblai ont été réalisées de façon systématique et conjointement entre la maîtrise d'œuvre génie civil et le groupement dans les zones déterminées comme présentant un risque potentiel de présence de cavité. Les reconnaissances pédestres ont été complétées par des survols en hélicoptère à basse altitude pour avoir une approche plus globale et pour détecter des indices éventuels aux abords immédiats de la plate-forme.

Ces reconnaissances ont localement permis de mettre en évidence des zones d'anomalies qui, après avoir été soumises à des études plus approfondies, ont fait l'objet de reconnaissances complémentaires.

Celles-ci ont consisté essentiellement à réaliser des campagnes de reconnaissances géophysiques associées à la réalisation de forages destructifs de contrôle des anomalies identifiées.

L'exemple de la craie, rencontrée sur les premiers



Photo 5
Remplissage sableux
associé à un couloir
de fracturation
au sein de la craie
massive du Sénonien
*Sandy filling together
with a fracture corridor
within the massive
chalk of the Senonian*

kilomètres du lot, permet de montrer que les remplissages sableux identifiés, soumis à des reconnaissances par microgravimétrie et par forages destructifs de contrôle des anomalies, ne présentaient pas de vides résiduels liés au soutirage des sables quaternaires dans la craie (photo 5).

■ OUVRAGES D'ART

Les grands franchissements de rivières

Le projet de la LGV Est européenne sur le lot 24 franchit de nombreux cours d'eau, ruisseaux et thalwegs. Les paramètres hydrologiques des stations de Reims et de Nancy, proches du tracé, ont été retenus pour les calculs de débits.

Seules quatre rivières (Yèvre, Ante, Aisne, Thabas), dont le bassin versant (BV) est supérieur à 10 km², ont été modélisées mathématiquement. Toutes, affluents directs ou indirects de l'Aisne en amont ou en aval du projet, appartiennent au bas-



passage, cet ouvrage a fait l'objet d'une livraison anticipée sur le délai global des travaux du lot 24 afin que la faune s'approprie au plus tôt le rétablissement.

Il bénéficie comme les autres PGF d'aménagements particuliers : plantations d'essences appétentes, mise en place de piège à traces pour le suivi ultérieur.

Pour s'assurer complètement de la continuité du corridor de déplacement, le PGF disposera à ses abords d'une zone de quiétude (photo 7).

Photo 6
L'Aisne avec ses protections végétales de rives

The Aisne with its plant protection on the banks

► sin Seine-Normandie. Hormis pour le Thabas, leur écoulement au droit de la LGV se fait du sud vers le nord. Ces rivières de plaine à très faibles pentes sont sinueuses.

Pour permettre des franchissements droits et par conséquent pour réduire la longueur des ouvrages d'art, des dérivations en amont et en aval de la ligne ont été nécessaires.

Les différents intervenants (maître d'œuvre, DDAF, Conseil supérieur de la pêche) ont voulu respecter au mieux les caractéristiques des rivières et leur végétalisation rapide.

Les protections lourdes, type enrochements, ont alors été réduites au droit des ouvrages d'art et abandonnées dès que possible au profit de protections végétales constituées de nappes de coco préensemencées d'un mélange de graines adapté au site.

Le profil en long des rivières ménage des secs et des mouillés afin de se rapprocher de la situation initiale, et le profil en travers en forme de V permet d'assurer une hauteur d'eau minimale lors des étiages (photo 6).

Passages grande faune (PGF)

Plusieurs PGF spécifiques rétablissent les déplacements des cerfs, chevreuils et sangliers avec notamment le PGF du bois des Horgnes. Avec une ouverture de 30 m, c'est l'ouvrage le plus important de la ligne dédié à la grande faune pour rétablir un axe majeur de déplacement des cervidés parfois surnommé "la coulée de l'Argonne" et situé au droit de ce que l'on pourrait appeler un isthme forestier (jonction des deux massifs forestiers nord et sud). Vu l'enjeu environnemental lié à ce

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

RFF représenté par la Direction des opérations de la LGV Est européenne

Maître d'œuvre

Groupement SNCF - Arcadis

Architecte de ligne

Jean-Louis Jolin

Entreprises

- Bec (mandataire)
- Demathieu et Bard (cotraitant)

Sous-traitants

- Destenay
- GTM Terrassement
- Ingérop
- Simas
- Cert Structure
- Solen
- Tetra Socaf
- Armatures SA
- Europ industries
- Durmeyer
- Somaro
- Trabet Monti
- Devynck

Fournisseurs

- Marne béton
- Märker
- Vicat
- Etienne
- Calin
- La Meilleraie
- Capremib

Marché : 75,741 M€

Délai global d'exécution : 25 mois



Photo 7
 Passage grande faune exceptionnel de 30 m
 à Villers-en-Argonne
*Exceptional 30-metre underpass for large game
 at Villers-en-Argonne*

L'ARCHITECTURE DE LIGNE

La marque architecturale et la mise en valeur des ouvrages de la ligne LGV Est européenne sous maîtrise d'œuvre SNCF-Arcadis sont surtout apportées par la silhouette d'ensemble et par la forme et la nature des parements des éléments préfabriqués en rive de tabliers qui sont les éléments immédiatement perceptibles.

Le groupement SNCF - Arcadis s'est adjoint les services d'un architecte de ligne (J.-L. Jolin) pour définir une ligne commune aux tronçons réalisés sous sa maîtrise d'œuvre, en apportant à la fois une unité qui véhicule l'image de marque du TGV et en y intégrant des particularités à chaque tronçon.

Les corniches forment un bandeau plein et continu. La couleur est spécifique à chaque lot.

Leur parement désactivé dégage assez profondément les granulats de petites tailles, ce qui donne une couleur plus franche et plus vive.

La géométrie des corniches de ponts-rails se fait suivant la proportion du nombre d'or par un redent qui sépare une partie supérieure cambrée et lisse, et par une partie inférieure cannelée. Des éléments d'extrémités inclinés terminent chaque ouvrage. Les panneaux cambrés apportent à la fois dynamisme et élégance à l'image de la ligne.

La géométrie des corniches de ponts-routes est également cambrée et désactivée mais sans partie cannelée, car moins haute puisque complétée par des barrières de sécurité.

Les abouts des corniches s'achèvent par un massif de blocage assez haut, aux contours très obliques comprenant un parement cannelé verticalement.

ABSTRACT

Work section 24 : from the wet Champagne Region to the Barrois calcareous plateau

D. Chazelle, A. Delhomel, N. Lafuente, R. Laville

Work section 24, 38,8 km long, is carried out in the Marne and Meuse departments between the districts of Tilloy-et-Bellay and Nubécourt. Given the relatively flat morphology of the sectors passed through and their dispersed habitat, the High-Speed Train Line is able to pass well away from most of the villages, while complying with the nominal geometric values; no curve of exceptional radius is used either for the horizontal alignment or the longitudinal profile. Only the hamlet of Grigny is located less than 500 metres away from the centreline of the railway line.

Project transparency is provided by 31 standard engineering structures which break down into 22 road bridges and 9 railway bridges.

This work section, complex especially due to the variety of the soils encountered, enabled extensive use of earthworks techniques :

- Gradual build-up and instrumentation of backfills on compressible areas, recycling of materials by soil preparation and treatment ;
- Use of scrapers, high-efficiency shovels together with dumpers or 8WD trucks for "long distance" transport via the track so as to preserve the road network under-sized for this type of traffic.

Due to the reactivity of the civil engineering project management, and the material and human resources employed, acceptance inspection of the work section was performed in early July 2004, in accordance with the master schedule.

RESUMEN ESPAÑOL

El lote 24 : desde la Champagne húmeda hasta la meseta calcárea del Barrois

D. Chazelle, A. Delhomel, N. Lafuente y R. Laville

El lote 24, de una longitud de 38,8 km, se extiende por los departamentos del

Marne y del Mosa, entre los municipios de Tilloy-et-Bellay y de Nubécourt. La morfología poco accidentada de los sectores atravesados y el hábitat dispersado permiten a la Línea de Alta Velocidad (LAV) separarse significativamente de la mayor parte de los pueblos, pero siempre respetando los valores geométricos nominales. No se ha dispuesto ninguna curva de radio excepcional, tanto para el trazado en planta como para el perfil longitudinal. Únicamente el caserío de Grigny se encuentra a menos de 500 m del eje de la línea. La transparencia del proyecto está lograda por 31 obras estructurales, que se desglosan en 22 puentes de carretera y 9 puentes ferroviarios. Este lote complejo, y fundamentalmente por la variedad de los suelos atravesados, ha permitido una amplia utilización de las técnicas de movimientos de tierras :

- subida en fase e instrumentación de los terraplenados en las zonas compresibles, valorización de los materiales por elaboración y tratamiento de los suelos,
- utilización de las roderas, de palas de gran rendimiento en combinación con volquetes o camiones de 8 x 8 para los transportes a "largas distancias" por la pista con objeto de preservar la red viaria subdimensionada para este tipo de circulación.

La reactividad de la dirección de las obras de ingeniería civil, así como los medios materiales y humanos implementados han garantizado una recepción del lote a principios de julio de 2004, y ello de conformidad con el calendario rector.

Le viaduc de Jaulny, au régional de Lorraine

Le viaduc de Jaulny constitue le tronçon J, inséré entre les lots 32 et 33 du tronçon E. La longueur de ce lot est de 2 km. Le viaduc, en structure bi-caisson mixte, est pour sa part long de 480 m. C'est le plus haut de la ligne (environ 50 m) et ses portées principales sont de 73,80 m.

Ce lot présente par ailleurs l'originalité d'être réalisé en conception-réalisation, Eiffage TP étant le mandataire d'un groupement multidisciplinaire qui a franchi au préalable les phases "avant-projet détaillé" et "projet" avant d'être chargé de la réalisation. Le lecteur se référera utilement au n° 794 de *Travaux* (février 2003) où il trouvera la description des études de ce concours orchestré par RFF, ainsi que les options techniques et architecturales qui ont permis au groupement d'adapter le projet aux contraintes environnementales et à celles du référentiel technique de la LGV Est européenne. Le présent article décrit plus en détail la phase exécution et met en évidence l'adéquation entre le projet, les méthodes d'exécution et les exigences du maître d'ouvrage, notamment en matière de sécurité et de respect de l'environnement et de la qualité. L'ouvrage est actuellement en phase de finition (superstructures, remblais derrière maçonnerie, espaces verts).

■ LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES

L'ordre de service de démarrage des travaux a fixé celui-ci au 2 septembre 2002. Les travaux préparatoires revêtent pour ce projet une grande importance :

- ◆ déboisement : zone très pentue dans la partie CO/P1 à l'ouest ; zone très boisée du bois du Fey à l'Est (P6, C7, remblai Est) et haut lieu de lutte pendant la dernière guerre ; travaux à effectuer en contact permanent avec les services de déminage. Ces déboisements ont permis de mettre à jour la réalité topographique aux deux extrémités du viaduc ;
- ◆ contact avec les riverains et propriétaires pour l'indemnisation des emprises temporaires (dépôts provisoires, accès de chantier) ;
- ◆ passage préalable des services archéologiques ; des vestiges carolingiens ont pu être identifiés dans la zone P3/P4 ; des vestiges gallo-romains et des vestiges de guerre ont été reconnus dans le bois du Fey ;
- ◆ protection des essences rares et des zones protégées et sensibles ;
- ◆ recherche de cavités karstiques ou d'anciennes galeries militaires par sondages destructifs et mesures microgravimétriques, au cours d'une campagne géotechnique complémentaire et en tout début de chantier ;
- ◆ réalisation d'un linéaire important de pistes d'accès aux appuis dans un site inondable. Un ouvrage provisoire a été construit en fond de vallée sur le Rupt de Mad pour réaliser la pile P2. Les pistes

sont à réaliser avec l'accord des autorités locales et des propriétaires ou exploitants ;

- ◆ mise en place d'installations de chantier aussi discrètes que possible dans le site ;
- ◆ mise au point définitive des dépôts pour les excédents de déblais avec toutes les obligations administratives qui caractérisent cette démarche ;
- ◆ confortement des terrassements de certains appuis et notamment de la pile P1 par béton projeté et ancrages.

■ LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET D'ASSAINISSEMENT

Ils s'étendent à l'ouest de l'ouvrage sur une distance de 150 m, et à l'est sur une distance de 1 500 m. Ils sont étroitement liés au phasage de l'ouvrage et sont, de ce fait, très hachés et très méticuleux ; Ils se différencient complètement des travaux de terrassement d'un TOARC classique.

A l'ouest du viaduc (photo 1)

Le déblai nécessaire à la trace du TGV a été complété par un déblai complémentaire exigé par la réalisation de la plate-forme d'assemblage et de poussage de la charpente (hauteur égale à celle du caisson : 4,00 m), ensuite remblayé pour réaliser la PST (partie supérieure du terrassement). La pente des talus est de 3/2.

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

Les travaux effectués se déclinent ainsi :

- ◆ déblai : 50 000 m³ ;
- ◆ remblai : 20 000 m³ ;
- ◆ bloc technique en grave non traitée et en grave traitée : 5 000 m³ ;
- ◆ piste d'accès pour la nacelle MOOG : 500 ml ;
- ◆ couche de forme LGV : 4 000 m³ ;
- ◆ bassin de régulation ;
- ◆ assainissement piste MOOG et LGV ;
- ◆ dépôt provisoire ;
- ◆ aire de lancement du viaduc.



Photo 1
Déblai ouest
et installation
d'assemblage
et de poussage

*Western earth cut
and assembly
and pushing
system*

cœur du Parc naturel

Patrick Charlon



DIRECTEUR
DU DÉPARTEMENT
GRANDS OUVRAGES
ET PRÉCONTRAÎTE
Eiffage TP

Frédéric Cuffel



RESPONSABLE
DU CHANTIER
Eiffage TP

Le mur de soutènement en enrochements

Le versant ouest du projet est très abrupt ; il reçoit à la fois la culée C0 et la piste MOOG à flanc du talus existant. Pour le soutènement, la Forézienne d'Entreprises a proposé la réalisation d'un mur en enrochement bétonné de grande hauteur (H = 14 m), apportant à la fois le raidissement nécessaire du talus et un plus environnemental au projet (photo 2). Ce mur comporte un redan intermédiaire. Afin d'assurer le meilleur agencement possible de ces blocs d'enrochements pesant plus d'une tonne, la pelle hydraulique destinée à la pose des blocs a été équipée d'une pince spéciale permettant de faire tourner le bloc sur lui-même afin de choisir sa position idéale et le côté le plus esthétique pour la face qui sera vue. Les travaux se sont déroulés dans des conditions topographiques très difficiles, avec un souci permanent de garantir la sécurité du travail sur la pile P1, située en contrebas : protection contre la chute des blocs (grillage type montagne, pièges à cailloux en matériaux pulvérulents, bourrelets de terre). 9 000 m³ d'enrochements ont ainsi été mis en œuvre.

A l'Est du viaduc

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

- ◆ déblai : 600 000 m³ ;
- ◆ dépôt définitif à l'Est (125 000 m³) ;
- ◆ remblai de grande hauteur (avec deux niveaux de risbermes) : 400 000 m³ ; pente moyenne : 3/2 ;
- ◆ blocs techniques en grave non traitée et en grave traitée : 5 000 m³ ;
- ◆ couche de forme LGV : 10 000 m³ ;
- ◆ bassins de régulation et de diffusion ;
- ◆ assainissement LGV ;
- ◆ OH Ø 2 000 de 100 m de longueur ;
- ◆ PPF perpendiculairement à la trace.

Les matériaux du site

Les matériaux du site sont principalement des calcaires oolithiques dans une matrice argilo-sableuse plus ou moins présente suivant les zones de travail et les profondeurs de déblai (variable de 0 à 18 m). L'extraction de ces matériaux nécessite l'utilisation d'explosifs dans 80 % des cas. Leur ré-

utilisation en remblai dépend essentiellement du comportement de la fraction fine argileuse qui est très sensible à l'eau. Par temps sec, le taux de réutilisation est proche de 90 %, mais il peut chuter à 50 % en période humide. En cas de pluie franche, le chantier se retrouve très vite à l'arrêt par l'impossibilité de circuler et de réaliser les remblais. La partie supérieure des terrassements (PST) est réalisée avec les calcaires les plus sains, soigneusement triés et stockés lors des travaux d'extraction tout au long du chantier. Les couches de forme, d'apport extérieur, ont été confiées ultérieurement par RFF au groupement afin de protéger les PST pendant l'hiver 2003-2004, compte



Photo 2
Mur de soutènement en enrochements. Talus ouest. Pile P1 avec paroi clouée. Premier lancement en cours

Rockfill retaining wall. Western earth bank. Pier P1 with soil-nailed wall. Initial launching in progress



Photo 3
Déblai. Remblai Est
Earth cut. Eastern backfill

► tenu des écarts de délai de livraison des différents lots adjacents.

Les cadences de travail

La plus grosse partie des terrassements consiste en un remblai de 25 m de hauteur permettant l'accès à la culée Est du viaduc. Il a nécessité l'extraction de 600 000 m³ de matériaux. Le travail a été réalisé entre février et septembre 2003 à la cadence journalière de 5 000 m³ avec un atelier de terrassement pelles-tombereaux articulés de forte capacité travaillant en deux postes de 8 h00. Les moyens matériels comprennent :

- ◆ 4 pelles hydrauliques de 25 à 70 t ;
- ◆ 8 tombereaux articulés ;
- ◆ 2 compacteurs ;
- ◆ 2 bouteurs ;
- ◆ 1 foreuse ;
- ◆ 1 pelle équipée d'une pince pour enrochement.

■ LA RÉALISATION DES APPUIS

Elle a commencé en novembre 2002, comme prévu initialement, pour respecter le planning très serré d'exécution de 21 mois.

La culée C0

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

Les piles P1 à P6

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

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

Les éléments colorés latéraux des fûts de piles ont été réalisés sur place en béton coloré (2 % du poids du ciment).

La culée C7

C'est une culée classique avec un chevêtre perché en haut de remblai et fondée sur six pieux Ø 1 200 de 25 m de profondeur.

■ LE BI-CAISSON MÉTALLIQUE

Le lecteur pourra se reporter utilement au n° 794 de *Travaux* au sujet de la conception du bi-caisson métallique de 3 000 t constituant le tablier lancé depuis C0.

On peut noter toutefois deux innovations qui méritent d'être signalées pour des ouvrages ferroviaires de cette importance :

- la structure bi-caisson ;
- le choix d'une protection anticorrosion intérieure des caissons par des déshumidificateurs, qui a permis de ne pas mettre en œuvre les complexes habituels de peinture.

Quelques points caractéristiques de la réalisation sur site

Assemblage

Le bi-caisson a été préfabriqué par tronçons dans les ateliers de VBSC à Eeklo (Belgique). Ces tronçons, au nombre de 40, ont été acheminés par convois routiers, le plus important mesurant 28 m et pesant 50 t. Les tronçons préfabriqués intègrent toute l'ossature du bi-caisson (raidisseurs, diaphragmes) ; seuls les joints transversaux et les fixations des entretoises sont réalisés sur le banc de poussage. Le bi-caisson a été assemblé au fur et à mesure et poussé en 4 fois, par longueurs de 150 m. Les soudures ont été réalisées en atmosphère protégée, deux "cabines" roulant sur l'ouvrage ayant été réalisées pour le projet (photo 1). Ce système a permis l'emploi du procédé de soudage 136 (protection gazeuse). L'assemblage sur site des tronçons s'est étendu sur une période de 8 mois.



Photo 4
Coffrage grim pant
sur pile P5
*Climbing formwork
on pier P5*

Butée P6

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

Mise sur appuis

Cette opération a consisté au vérinage du bi-caisson pour le descendre de ses appuis provisoires de lancement sur ses appuis définitifs, soit une hauteur de 40 cm, et à la mise en place de la butée. L'opération de descente s'est effectuée par pas de 20 cm pour limiter les rotations au niveau de la structure. L'une des difficultés majeures a été le maintien de l'ouvrage vis-à-vis d'un déplacement longitudinal lors du scellement de la bêche. En effet, seuls deux appuis peuvent reprendre les efforts horizontaux générés par le tablier (dilatation thermique) : la pile P6 et le banc de poussage. La solution d'une butée provisoire en P6 n'a pu être retenue, les dimensions du chevêtre ne permettant pas la mise en place simultanément des appuis provisoires de l'ouvrage (balançoires), du système de guidage latéral, d'un dispositif de butée provisoire et d'un poste de travail pour le scellement de la bêche. Le charpentier a donc dû positionner sa butée provisoire sur le banc de poussage, solution gênante car la distance importante entre ce point et la pile P6 (450 m) risquait d'induire des déplacements importants de la structure par dilatation thermique au droit de la bêche lors de la prise du mortier de scellement, rendant donc cette opération impossible. Il a donc fallu surélever le bi-caisson de 20 cm par rapport à ses appuis provisoires

pour faire échapper la partie haute de la bêche à son dispositif d'accroche au bi-caisson et ainsi permettre la libre dilatation de la structure sans influencer la bêche.

L'opération de descente du tablier s'est effectuée deux appuis par deux appuis de C7 vers C0 suivant le phasage suivant (les cotes sont indiquées par rapport au niveau de poussage : 40 cm au-dessus du niveau définitif de l'ouvrage) :

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

Poussage au-dessus de la voie ferrée Paris-Metz

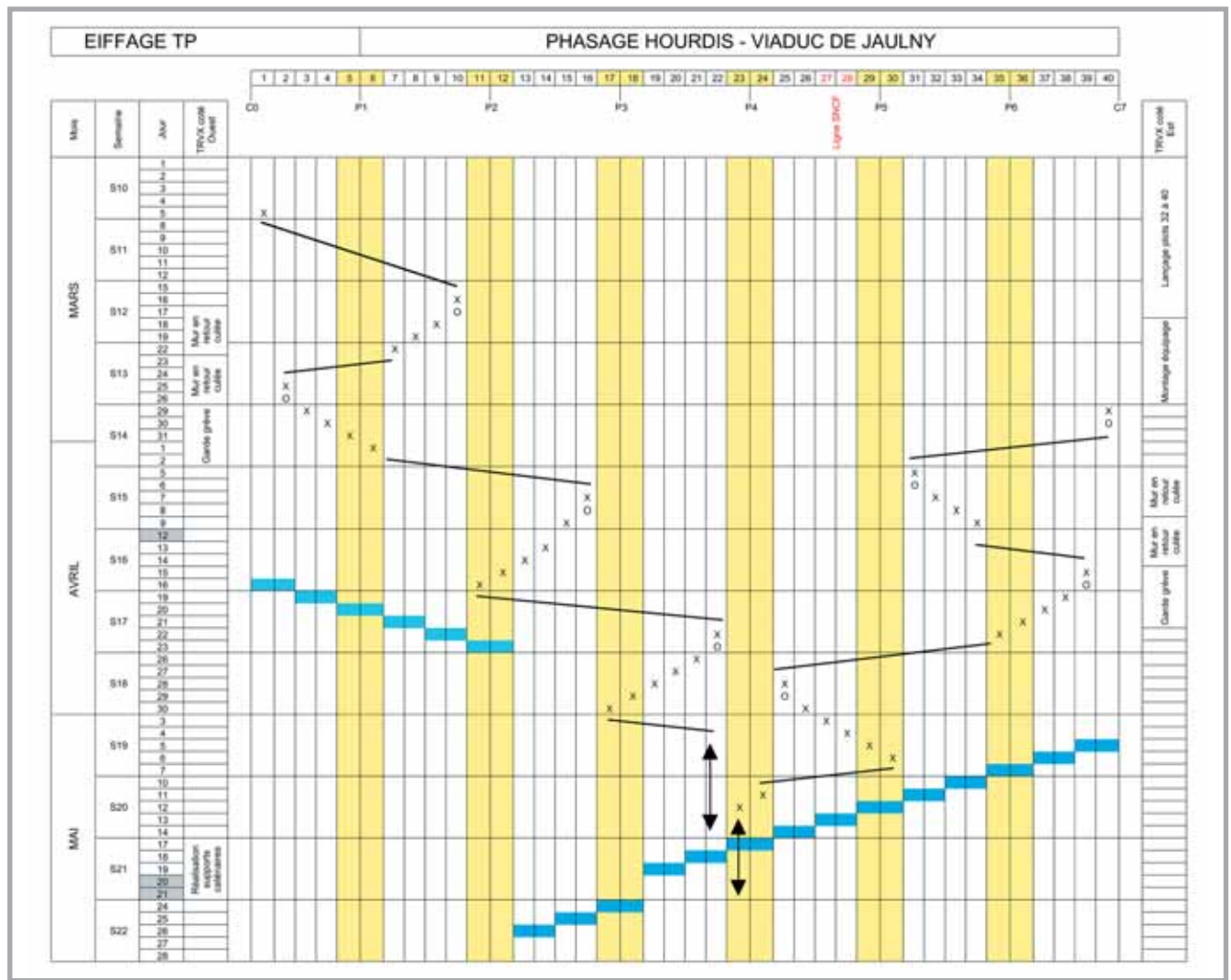
Le passage de l'avant-bec au-dessus de la voie ferrée s'est déroulé sous consignation caténaire, le groupement n'ayant que 4 heures dans la nuit du 30 novembre 2003 au 1^{er} décembre 2003 pour faire avancer le bi-caisson de 41 m (distance nécessaire pour l'accostage complet de l'avant-bec sur la pile suivante).

Une procédure spéciale et une analyse de risque ont été établies à cet effet en parfaite coordination avec la SNCF, en complément de la NPSF (Note particulière de sécurité ferroviaire), établie lors de la conception du projet.

■ LE HOURDIS BÉTON ET LES SUPERSTRUCTURES

Le hourdis béton (B 36) est réalisé par plots de 12,30 m au moyen de deux équipages mobiles

Figure 1
Phasage de réalisation
du hourdis béton
*Scheduling
for construction
of the concrete deck
section*



- ▶ (poids unitaire 25 t) suivant un phasage précis (figure 1). Ce phasage intègre :
 - ◆ la limitation des rotations au niveau des appuis, l'ouvrage étant sur ses appuis définitifs au moment de la réalisation du hourdis ;
 - ◆ la limitation des longueurs de pompage pour la réalisation du hourdis ;
 - ◆ le début de la pose des corniches sur les encorbellements avant la fin de la réalisation du tablier.
- Les équipages mobiles (photo 5) ne coffrent que la partie en encorbellement de part et d'autre du hourdis, la partie centrale étant coffrée par des prédalles. La réalisation du hourdis est rapide, les armatures ayant été placées sur le bi-caisson préalablement au lancement. La cadence d'un plot par jour par équipage est atteinte en travée courante.
- Le tablier est complété et équipé par :
- ◆ des écrans béton préfabriqués permettant la circulation de l'engin MOOG : protection contre le bruit ; garde-ballast ;
 - ◆ des caniveaux à câbles classiques ;
 - ◆ une étanchéité type chape souple avec protection en béton bitumineux (5 700 m²) ;
 - ◆ un collecteur métallique sous encorbellement ;
 - ◆ un joint garde-ballast côté CO (souffle de 40 cm) ;
 - ◆ un joint classique à couteau sous ballast (souffle de 5 cm) côté C7 ;
 - ◆ des plots supports caténaire espacés de 36 m.

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

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

Pour la sécurité en cours de travaux, un plancher de protection (photo 6) a été fixé de part et d'autre du bi-caisson afin d'éviter toute projection en contrebas de matériau lors de la réalisation du hourdis béton armé. Ce plancher provisoire qui surplombe la voie ferrée en service a été mis en place avant poussage du tablier, et sera enlevé une fois les travaux de réalisation du tablier terminés.

■ LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le site des travaux est inscrit à l'inventaire ZNIEFF. La conception du projet (cf. *Travaux* n° 794) a intégré les contraintes environnementales qui en dé-

coulent. Au niveau de l'exécution, celles-ci sont essentiellement les suivantes :

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

Le groupement a pris un ensemble de dispositions pour éviter tout impact des travaux sur l'environnement du chantier. Des bassins recueillant les eaux de ruissellement équipés de filtres ont été aménagés de part et d'autre de la rivière pour éviter la propagation de matières en suspension (MES) dans le Rupt de Mad. En parallèle, des échantillons d'eau sont prélevés régulièrement pour analyse à l'amont et à l'aval du chantier pour déterminer l'impact de celui-ci. Toutes les zones de parking et d'entretien des véhicules sont étanches et entourées de fossés bétons récoltant les eaux et les acheminant vers des séparateurs à hydrocarbures. Les engins de terrassement sont parqués le soir sur des aires étanches. Tous les déchets du chantier sont récupérés et mis dans des bennes (tri sélectif).

Un forage de 130 m a été réalisé à mi-chemin entre le chantier et le captage d'eau du village de Jaulny afin d'étudier, en cas de pollution accidentelle, la propagation de celle-ci dans la nappe phréatique. Les zones où sont présentes des espèces protégées ont été balisées et clôturées pour éviter tout passage de véhicule à l'intérieur.

Un lot important "Espaces verts" a débuté : terre végétale - engazonnement - plantations d'espèces arbustives locales. Les ligneux sont plantés suivant une répartition conforme à un échantillonnage effectué dans la forêt voisine.

■ MAÎTRISE D'ŒUVRE ET ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Les relations maîtrise d'ouvrage - groupement se sont caractérisées, tant au niveau de la conception que de l'exécution, par un grand climat de confiance réciproque et par une transparence totale. Cette collaboration constructive a permis de réaliser un projet innovant respectueux du référentiel technique, notamment en ce qui concerne le tablier bi-caisson mixte de grande portée, poussé avec prédalles et ferrailage du hourdis. Si le respect de la qualité au niveau des études et des travaux a été supervisé par le conducteur d'opération Sceaurooute, RFF a toujours considéré le groupement concepteur-réalisateur comme un véritable maître d'œuvre.

L'assurance de la qualité au cours des différentes



Photo 5
Dispositif de protection au-dessus de la voie ferrée en service

Protective device above the railway track in operation



Photo 6
Vue d'ensemble et équipement mobile sur CO
Overall view and mobile rig on CO

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Réseau Ferré de France

Conducteur d'opération

Sceaurooute

Maîtrise d'œuvre travaux

En groupement :

- Eiffage TP (mandataire)
- Victor Buyck Steel Construction (tablier métallique)
- Société Forézienne d'Entreprises et de Travaux (terrassement)
- Setec TPI (conception - contrôle externe)
- Architecture Neel (architecte)
- Espace (architecte)
- Cabinet Alliod (aménagements paysagers)

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Conseiller géotechnique : Terrasol
- Etudes génie civil et béton armé : Secoa
- Etudes charpente métallique : Setec TPI
- Bétons : Holcim
- Aciers HA : SAMT
- Coffrage des piles : Ersem
- Ouvrage provisoire : Leduc
- Pieux : Durmeyer
- Equipages mobiles : Ersem
- Ecrans garde-ballast : Capremib
- Etanchéité : Eurovia
- Déshumidificateurs : Münters
- Espaces verts : Entreprise Christophe

► phases du projet a été définie dans le marché au travers d'un schéma directeur de la qualité (SDQ), repris par une NOG (Note d'organisation générale) au niveau de l'exécution. Les études et les travaux ont fait l'objet d'un contrôle interne et d'un contrôle externe niveau 1 effectués par chaque cotraitant ; un contrôle externe niveau 2 (responsable devant la maîtrise d'œuvre du projet) permanent sur site a garanti la validité et la cohérence des études ainsi que la qualité des travaux réalisés. Le bon fonctionnement de la démarche mise en œuvre a été confirmé au cours des audits effectués par RFF et des audits internes.

ABSTRACT

The Jaulny viaduct, in the heart of the Lorraine regional natural park

P. Charlon, Fr. Cuffel

The Jaulny viaduct is the highest structure on the East European High-Speed Train Line. 480 metres long, its composite double metallic box girder structure also sets a record for span length (73.90 metres) in this field.

The original feature of this work section is that it is carried out by means of a Design and Build procedure in which the contractor also acts as project manager.

The works are currently nearing completion and the box girders will soon be equipped with four dehumidifiers capable of providing interior corrosion protection without painting.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto de Jaulny, en pleno centro del Parque natural regional de Lorena

P. Charlon y Fr. Cuffel

El viaducto de Jaulny constituye la estructura de mayor altura de la Línea de Alta Velocidad Este europea. De una longitud de 480 m, su estructura mixta en bicajón metálico constituye también un récord de luz (73,90 m) en el aspecto que nos ocupa.

Este lote presenta la originalidad de una ejecución según un procedimiento de diseño-ejecución en el cual la empresa constructora ha desempeñado también un cometido de dirección de las obras. Las obras se encuentran en su etapa final de acabado y los cajones se habrán de equipar dentro de breve plazo con cuatro deshumidificadores que permitirán obtener la protección anticorrosión interior sin necesidad de pintura.

De la vallée de la Meuse à la vallée de la Moselle

Gérard Latroy
DIRECTEUR DE PROJET LGV EST
Scetauroute

Avec la participation de :

M.-C. Lehericey,
C. Papiou, O. Cuisset,
Y. Grennerat, P. Roussot,
E. Waline
DIRECTION DE PROJET LGV EST
Scetauroute

Le tronçon E, d'une longueur de 43 km dont Scetauroute assure la maîtrise d'œuvre, s'étend de la Meuse à la Moselle et présente les particularités suivantes :

- contraintes environnementales du fait de la traversée du Parc naturel régional de Lorraine,
- contraintes liées au raccordement de la ligne à la voie ferrée régionale Métrolor Metz-Nancy,
- franchissements de la vallée de la Meuse et de la Moselle, ayant nécessité pour cette dernière un viaduc de 1510 m, le plus long de la LGV Est,
- parmi les sept lots de travaux, le lot 33 comporte le franchissement en déblai de la formation des schistes cartons, matériau présentant des gonflements très importants à l'air et à l'eau, ce qui a conduit à réaliser une purge de 450000 m³ avec murs de soutènement provisoires pour assurer qu'aucun gonflement de la plate-forme de la ligne ne puisse avoir lieu en phase d'exploitation.

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TRONÇON E

Le tronçon pour lequel Scetauroute assure la maîtrise d'œuvre du génie civil a son origine à Bannoncourt (département de la Meuse) en rive gauche de la Meuse et son extrémité à Champey-sur-Moselle (département de la Meurthe-et-Moselle) en rive droite de la Moselle.

Il est compris entre les tronçons D et F, tous deux sous maîtrise d'œuvre SNCF, et se raccorde à Pagny et Vandières, en rive gauche de la Moselle, à la voie ferrée Nancy-Metz (voie Métrolor). Ce tronçon d'une longueur de 43 km (hors raccordements ferroviaires) concerne les deux départements de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle et traverse 16 communes.

Le franchissement du Rupt de Mad à Jaulny en est exclu, il fait l'objet d'un marché de conception-réalisation par ailleurs.

Pour sa construction, le tronçon E nécessite la réalisation de :

- ◆ 10 millions de m³ de déblais ;
- ◆ 6 viaducs pour une longueur cumulée de 3100 m, dont deux viaducs pour la traversée de la vallée de la Meuse, l'un de 600 m et l'autre de 310 m, le viaduc de la Moselle d'une longueur de 1510 m, le plus long de la LGV Est (photo 1), dont le maître d'œuvre a confié à la SNCF la conception et le suivi des travaux ;
- ◆ 4 ouvrages de type saut-de-mouton nécessités par les raccordements ferroviaires ;
- ◆ 12 ouvrages de type pont-route (PRO) et 26 ouvrages de type pont-rail (PRA).



Photo 1
Réalisation des appuis
du viaduc de la Moselle
*Construction of the supports
for the Moselle viaduct*

L'allotissement des travaux principaux est composé de deux lots de terrassement, ouvrages d'art et rétablissements (lots TOARC 32 et 33) et de cinq lots d'ouvrages non courants (lots 35, 36P, 36V, 37 et 39) pour un montant de 324 M€ HT.

Cette portion de ligne nouvelle, construite dans le périmètre du Parc naturel régional de Lorraine, présente de forts enjeux environnementaux, mais aussi techniques du fait de la nature des sols et de la réalisation des raccordements ferroviaires dans la zone à fortes contraintes de la vallée de la Moselle : vallée inondable, relativement urbanisée et déjà occupée par d'autres équipements (voie fer-

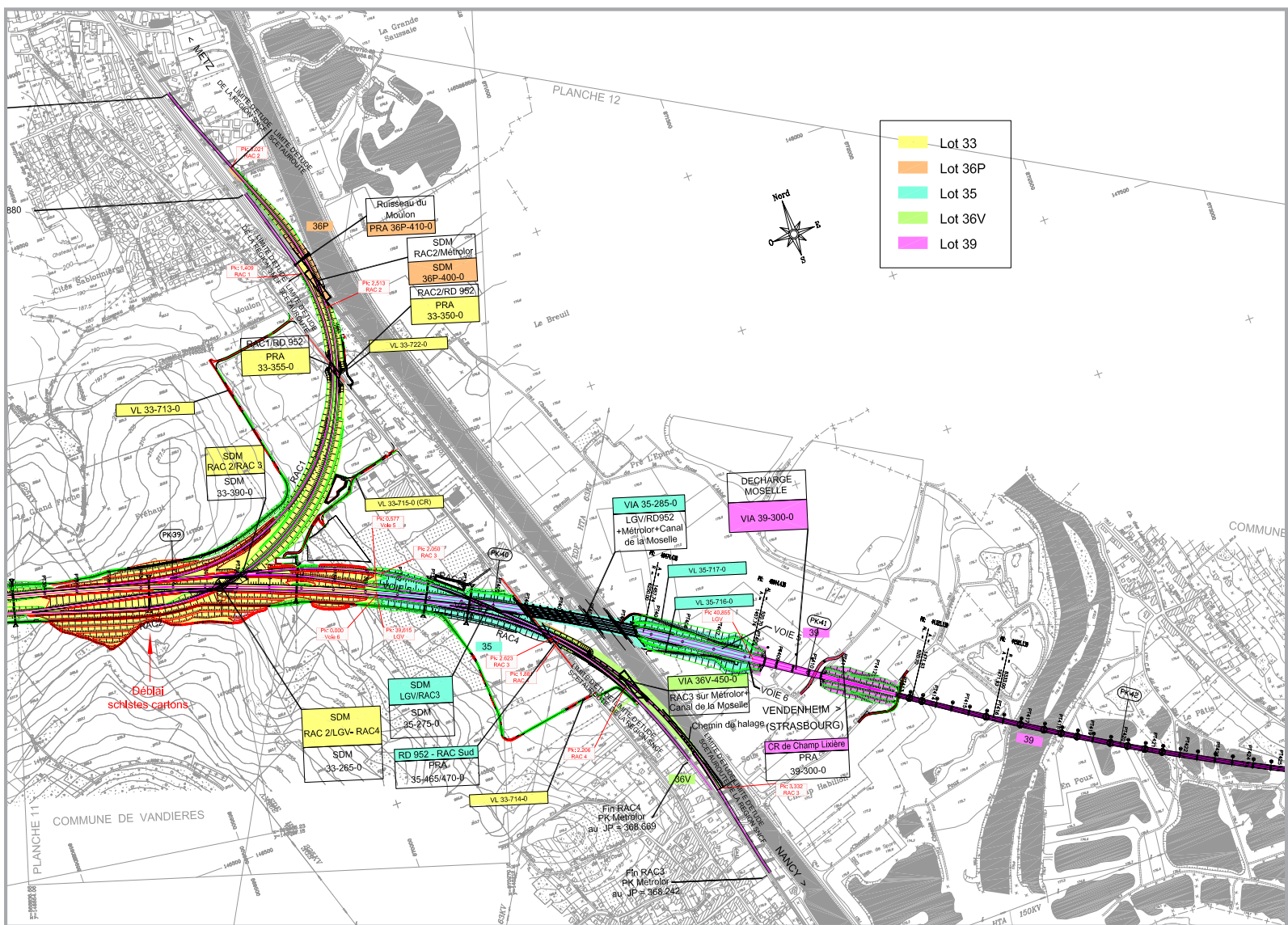


Figure 1
Zone des raccordements
à la voie Métrolor

Area of links
to the Métrolor track

rée, canal, route) comme le montre la figure 1 et l'image de synthèse (figure 2), issue d'une maquette virtuelle, dont le principe de présentation s'est avéré nécessaire en phase de concertation locale.

PRINCIPAUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Le tronçon E traverse de part en part la zone ouest du Parc naturel régional de Lorraine (PNRL). Depuis de nombreuses années, cette spécificité a eu pour conséquence une concertation environnementale poussée entre RFF, Scetauroute et le parc. Ce travail quotidien, réalisé entre les différentes parties, a été entériné le 22 octobre 2003 par la signature d'un protocole de partenariat entre RFF et le PNRL, permettant ainsi d'affirmer l'objectif commun des deux partenaires : construire la LGV Est européenne tout en préservant et valorisant les territoires du parc.

Variante et choix du tracé

La préservation de l'environnement sur le tronçon E a permis, lors du calage définitif du tracé, de

prendre en compte une variante en 1999-2000, à la demande du PNRL et en accord avec les services de l'Etat (DIREN, etc.). Cette variante de tracé a permis de préserver la zone humide du Bosmard, qui s'était révélée d'une grande richesse patrimoniale à la suite des inventaires d'état initial réalisés, dans le cadre des études d'avant-projet détaillé, par Ecolor, bureau d'étude en charge du milieu naturel.

Espèces protégées et zones Natura 2000

De par la richesse tant floristique que faunistique de l'environnement qu'elle traverse, la LGV avait un impact direct sur des espèces végétales et animales protégées. Dans le cadre de la phase étude menée par Scetauroute, RFF a obtenu des préfetures de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle, des arrêtés autorisant le déplacement de quelques pieds d'une plante, le pigamon moyen (protection régionale) ainsi que de batraciens (tritons alpestres, palmés, crêtés : protection nationale). Des opérations de sauvetage ont été réalisées avant le commencement des travaux mais également à l'avancement du chantier, des amphibiens ayant élu domicile dans les emprises du chantier, mal-

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 39

Entreprises

En groupement : Eiffage TP (mandataire) - Demathieu & Bard - SFET - Baudin Chateaufeuf - Eiffel

Sous-traitant du maître d'œuvre conception et suivi des travaux SNCF

Bureaux d'études des entreprises IOA et Greisch (ouvrages d'art), SFET (terrassements)

Montant = 55,7 M€ HT

Délais : 28 mois

gré la pose de grillages spécifiques au pied des clôtures provisoires.

La richesse du parc impose également au tracé, la traversée de trois zones proposées au réseau Natura 2000. RFF, dans le respect des obligations communautaires de la France (directive Habitats n° 92/43/CEE), a porté en phases études et travaux, une attention particulière à l'intégration de la LGV dans cet environnement sensible et au moindre impact du chantier dans ces différents secteurs de grand intérêt patrimonial.

Afin d'effectuer des dérivations définitives ou provisoires de cours d'eau, des pêches électriques (photo 2) ont été réalisées par le Conseil supérieur de la Pêche (CSP), en coordination avec les entreprises de travaux et la maîtrise d'œuvre. Ces pêches ont permis la découverte de deux espèces protégées au niveau national et non répertoriées dans les états initiaux : la loche d'étang et l'écrevisse à pieds blancs (photo 3). Fort heureusement, cette nouvelle donnée n'a ni modifié ni retardé le projet. En concertation avec le CSP, RFF s'est engagé à reconstituer pour ces espèces, des milieux favorables à leur développement dans le cadre des mesures compensatoires du projet.

Traversée des ressources en eau, tant superficielles que souterraines

Le tronçon E traverse trois unités hydrographiques : la Meuse, le Rupt de Mad et la Moselle. Les incidences du projet ont été finement analysées par les services de l'Etat conformément à la loi sur l'eau n° 92-3 du 3 janvier 1992. Les études des ouvrages hydrauliques, à la traversée des vallées de la Meuse et de la Moselle, confiées par Sctauroute au BCEOM ont été dimensionnés pour le passage d'une crue centennale ou de la crue supérieure connue. Deux modèles hydrauliques ont ainsi été calés et de nombreuses simulations ont été réalisées avant d'aboutir aux projets autorisés au titre de la loi sur l'eau. Par ailleurs, afin de contrôler les études et dans le but d'apaiser les sensibilités locales, des remblais étant prévus en zones inondables, les études ont fait l'objet d'une contre-expertise hydraulique conduite par le Cemagref, à la demande des préfetures de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle.

Ces expertises ont conduit les préfets à confirmer le dimensionnement des ouvrages proposés pour la Moselle, et à prescrire un allongement supplémentaire de l'ouvrage de la Meuse en application du principe de précaution, les calculs ayant montré le respect par le projet initial des dispositions réglementaires.

Le chantier traverse également des périmètres de protection rapprochés de captages d'eau souterraine pour l'alimentation en eau potable de certaines communes touchées par le projet. Des



Figure 2
Image de synthèse.
Vue de la LGV
et des RAC 3 RAC 4

Composite image.
View of the High-Speed Train
Line and links 3 and 4



Photo 2
Pêche électrique
Electric fishing



Photo 3
Ecrevisse
à pieds blancs
White-footed
crayfish

hydrogéologues agréés ont été sollicités au cours des études mais également durant le chantier, pour donner un avis spécifique sur l'impact du projet, qui n'affecte pas les bassins d'alimentation de ces sources captées. Des précautions sont toutefois prises en phase travaux comme la mesure mensuelle des débits des sources, la réalisation de piézomètres de contrôle, le prélèvement d'eau pour analyses (hydrocarbures, matières en suspension, turbidité), ceci permettant d'évaluer l'impact tant qualitatif que quantitatif de la phase travaux sur la ressource en eau.

Intégration architecturale et paysagère de la ligne

Les ouvrages d'art, et plus particulièrement les viaducs, ont fait l'objet d'études architecturales spécifiques. La volonté de l'architecte du maître d'œuvre, Alain Spielmann, était de marquer et de personnaliser le projet dans son passage en Lor-



Photo 4
Viaduc de franchissement
de la Meuse

*Viaduct crossing over
the Meuse*



raîne, en proposant des ouvrages métalliques bi-poutres, unis par une même teinte et un même dessin de piles courantes. Toutefois, certains ouvrages ont bénéficié de traitements particuliers comme l'intégration de l'inertie variable pour le viaduc de la Meuse (photo 4) ou la travée centrale du viaduc de la Moselle, qui bénéficie également de piles au dessin spécifique. L'architecture et le projet paysager ont fait l'objet de nombreuses réunions de travail avec le parc et les services de l'Etat.

RFF, en coopération avec le PNRL, a décidé de réaliser les aménagements paysagers de certains secteurs de la LGV à partir de matériel végétal présentant un patrimoine génétique local (taxons locaux). Dès lors, l'expérimentation prenait corps grâce à la récolte puis la mise en culture de graines et boutures prélevées dans le périmètre du parc. Concernant les arbres tiges, des sujets ont été marqués dans des bois localisés dans un rayon de 40 km autour de la LGV et leurs racines ont été préparées mécaniquement à la transplantation (cernage). Au total, ce projet "Taxons locaux" représente environ 72 000 jeunes plants à produire et la transplantation de 350 arbres tiges, soit un tiers des végétaux utilisés dans le cadre des aménagements paysagers du tronçon E. La Société Forestière de la Caisse des Dépôts est associée à cette démarche. Exécuter cette opération avec une telle ampleur est une première dans le cadre de l'aménagement d'une telle infrastructure linéaire.

Suivi environnement travaux

Etant donné la richesse de ce patrimoine et l'enjeu de la phase travaux, un chargé environnement est en permanence présent au sein de la Direction de projet Scetauroute. Aidé de la Division Travaux et des correspondants environnement des entreprises, il assure le respect des pièces envi-

ronnementales des marchés. Ses visites, parfois inopinées sur le chantier, peuvent conduire en cas de dysfonctionnement avéré, à l'ouverture de fiches de non-conformité environnementale et à l'application de pénalités financières. Le chargé environnement reste l'interlocuteur privilégié des services de l'Etat et du PNRL, pour lesquels sont organisées régulièrement des visites de chantier.

■ PRINCIPAUX ENJEUX TECHNIQUES

Terrassements

Contraintes géotechniques

Le tronçon E est situé entre les côtes de Meuse et les côtes de Moselle ; celles-ci ont permis d'utiliser les matériaux calcaires pour des remblais courants mais également, lorsque ces calcaires avaient des résistances et un taux de fines conformes au Référentiel technique (RT) de la LGV Est, de les valoriser en matériaux plus nobles : matériaux de base de remblais en zone inondable (250 000 m³), matériaux de base de remblais en zone humide (300 000 m³) et matériaux de masques drainants (330 000 m³) pour les lots 32 et 33.

Les matériaux de couche de forme (épaisseur 0,35 m, 230 000 m³) et de sous-couche (épaisseur 0,20 m, 120 000 m³) sont en fourniture extérieure, approvisionnés par RFF, principalement par mode ferroviaire (fret SNCF).

Entre ces deux côtes, la LGV franchit sur 15 km la plaine de la Woëvre, zone argileuse humide à très humide et plus ou moins compressible. En tenant compte que le RT impose des critères en terme de tassements résiduels maximum inférieurs à 2 cm à la réception de la sous-couche et totalement résorbés lors de la pose des rails, deux dispositions ont été prises pour la phase de préparation : une campagne géotechnique complémentaire réalisée par l'entreprise, dense pour ce qui concerne les sondages au pénétromètre statique, et par ailleurs deux remblais d'essais instrumentés à surcharges variables pour suivre l'évolution de la consolidation et des tassements. En effet, ces matériaux se présentent sous forme d'argiles schisteuses parfois gypseuses ou marneuses, avec une surface souvent décomprimée et peu traficable. L'enjeu principal du passage dans cette plaine est la traversée des argiles peu compressibles, mais à tendance gonflante en présence d'eau. Ces argiles sont un produit de décalcification, assez plastiques mais raides et non parfaitement saturées. Les modèles utilisés pour les études et le dimensionnement du projet sont basés sur des matériaux plutôt mous. Si l'on pressentait que les résultats étaient donc un peu pessimistes, il est apparu nécessaire de vérifier les hypothèses en grandeur réelle par la réalisation et le suivi à long terme de remblais

INTERVENANTS COMMUNS DU TRONÇON E

Maître d'ouvrage

RFF - Direction des opérations de la LGV Est européenne

Maître d'œuvre

Scetauroute

Architecte

Alain Spielmann

Paysagiste

Groupement : Arnatur, A. Peter, Beture infrastructure, Société Forestière

Coordonnateur sécurité

Cabinet Labriet

Contrôle extérieur

- Laboratoire : CEBTP
- Topographie : SRT
- Structures métalliques : IS Services

d'essais instrumentés (intégrés dans un marché de prestations préparatoires). Cela a permis de caler les différents coefficients à prendre en compte dans les calculs de tassement, sachant qu'il y avait peu de pressions interstitielles et que la quasi-totalité des tassements était instantanée, et d'appréhender le facteur temps de consolidation. Les dispositions constructives qui en découlent ont permis d'optimiser, par rapport aux exigences et prévisions du marché les quantités de purges (épaisseur moindre). Cette optimisation a engendré également une incidence sur l'assainissement latéral en réalisant des fossés moins profonds.

Les contraintes géotechniques du lot 33 avec le franchissement du déblai des schistes cartons sont détaillées plus loin.

Les anomalies anthropiques et naturelles

Une des particularités du tronçon est de traverser des massifs calcaires et d'intercepter les fronts allemands et américains de la guerre 14-18 ; en phase étude, les bureaux ARPE, SEGG et Horizons sont intervenus pour évaluer les risques liés aux cavités anthropiques et naturelles et aux engins de guerre. Pour ces trois thèmes, le risque s'est révélé avéré avec : présence d'engins de guerre, de dépôts de munitions, d'abris et de blockhaus, essentiellement dans les zones boisées, présence de puits comblés partiellement et présence de fractures et de vides de type karstique. Sur ce dernier point, comme il était prévu en phase étude, une intervention par méthode géophysique est programmée au niveau de l'arase de tous les déblais calcaires pour réduire au minimum ce risque cavité très important pour une LGV. Pour les zones en remblais, une reconnaissance visuelle a eu lieu après un décapage systématique de l'assiette des remblais. En ce qui concerne les engins de guerre, une convention préalable entre RFF et le ministère de l'Intérieur (DDSC), valable pour l'ensemble de la ligne, a permis d'organiser les actions de formation préalable des personnels des entreprises et les interventions rapides du Service de déminage, pour assurer la sécurité des personnes et limiter la perturbation des travaux.

Valorisation des sous-produits industriels

Le lot 35 comprend notamment la mise en œuvre d'un remblai de 210 000 m³ dans la vallée de la Moselle. La solution de base était une fourniture de matériaux issus de carrières locales. Lors de l'appel d'offres, l'entreprise DTP proposa d'utiliser les cendres volantes d'une centrale thermique EDF proche du tracé. Cette variante a été retenue et les cendres furent mises en noyau dans un encagement périphérique en limon traité. Le remblai est situé dans une vallée inondable et bien que sa base soit constituée de matériaux spécifiques ZI (avec moins de 5 % de fines et une résistance LA + MDE < 80) jusqu'à une cote NPHE + 50 cm et que la

base des cendres soit elle-même située 50 cm au-dessus des ZI, il est apparu nécessaire de connaître l'incidence éventuelle sur l'environnement de l'utilisation de tels matériaux avant de valider la conception de cette solution. Les cendres volantes ont donc fait l'objet d'une étude de caractérisation physico-chimique basée sur des analyses chimiques sur matériaux bruts et sur lixiviats. Les résultats de ces analyses ont permis de considérer ces cendres comme des déchets non dangereux au regard des réglementations en vigueur et valorisables en remblai moyennant la prise en compte de prescriptions particulières.

Ouvrages d'art

Les principaux enjeux techniques ont porté sur les ouvrages de raccordement et le franchissement du canal de la Moselle.

Conception des ouvrages de franchissement de la voie ferrée Metz-Nancy

Situés à l'extrémité Est du tronçon E, les raccordements de la LGV depuis Metz vers Paris (RAC 2) et de Paris vers Nancy (RAC 3) présentent la particularité de franchir l'axe ferroviaire existant Metz-Nancy avec des biais très importants voisins de 21 grades.

La conception de ces ouvrages doit, d'une part, répondre aux objectifs de fiabilité et de facilité d'entretien et, d'autre part, présenter une épaisseur minimale de tablier afin de respecter les contraintes de gabarit ferroviaire et de géométrie de voie. Le saut-de-mouton (SDM) constitue la solution la plus économique pour répondre à ces objectifs, même si le biais important des franchissements conduit à réaliser des ouvrages longs (de 100 m) pour lesquels la surface de tablier peut sembler largement surabondante par rapport à la surface théorique réelle.

La structure de ces ouvrages de type portique en béton armé est simple et rustique. Par contre, les conditions d'exécution des longs piédroits et des traverses à proximité et au-dessus d'une voie ferrée électrifiée à fort trafic sont étroitement liées aux contraintes de sécurité ferroviaire et doivent faire l'objet d'études détaillées des phases de construction et de mise en place des dispositifs de protection.

Conception de l'ouvrage du raccordement RAC3 de Paris vers Nancy

L'extrémité du raccordement de la LGV Est de Paris vers Nancy présente la difficulté d'être implantée dans une emprise réduite de 20 m de largeur comprise entre la voie ferrée Metz-Nancy et le canal de dérivation de la Moselle. Ce canal est une voie navigable de classe VI au sens de la circulaire n° 95.85 avec une hauteur d'eau d'environ 4,00 m. La géométrie de la LGV, tangente à la berge du ca-

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 37

Entreprises

En groupement : Demathieu & Bard (mandataire) - Baudin Chateauneuf - Bec Frères - Muller TP

Bureaux d'études des entreprises

Arcadis EEG Simecsol, Secoa, Baudin Chateauneuf (ouvrages d'art), Muller TP (terrassements)

Montant : 32,7 M € HT

Délais : 24 mois

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 32

Entreprises

En groupement : GTM Terrassement (mandataire) - GTM génie civil et service - Chantiers Modernes Weiler - Deschiron - Campenon Bernard TP - SCL et Eurovia

Bureaux d'études des entreprises

Ingérop, Setec TPI et SNCF Ingénierie Marseille (études exécution), Terrasol (géotechnique), SERF et IOA (ouvrages d'art)

Montant = 91,1 M€ HT

Délai : 24 mois

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 33

Entreprises

En groupement : Valérian SNC (mandataire) - Guintoli SA - Dodin SNC - Guintoli SA - Maia Sonnier

Bureaux d'études des entreprises

SNCF Ingénierie Marseille (études exécution), Sepia (géotechnique), Ingérop et IOA (ouvrages d'art)

Montant = 86,6 M€ HT

Délai : 23 mois

Photo 5
Viaduc
du lot 35

Viaduct on work
section 35



nal, et la nécessité de rétablir le chemin de halage ont conduit à réaliser un rideau de soutènement de berge de 350 m de longueur empiétant au maximum de 3,50 m sur la voie d'eau.

A l'arrière de ce rideau de soutènement et après le franchissement du SDM, le raccordement ferroviaire est supporté par un ouvrage de type estacade à doubles nervures en béton armé de 2,35 m de hauteur et de portées isostatiques de 23,00 m. Puis, lorsque la hauteur entre la sous-face des poutres et le terrain naturel devient inférieure à 1,60 m, l'estacade est remplacée par un remblai soutenu côté canal par un mur.

La conception du rideau de soutènement des berges du canal doit être stable et garantir un déplacement de sol limité à l'arrière du soutènement afin de ne pas générer de désordres sur les ouvrages du raccordement ferroviaire sous le cas de charge accidentel d'une vidange rapide du canal.

L'étude du projet de la structure a nécessité le recours à un modèle aux éléments finis permettant d'appréhender sous le cas de charge accidentel les déplacements du sol au voisinage des fondations des ouvrages du raccordement RAC 3.

Conception du viaduc du canal de la Moselle

Situé dans la zone des raccordements, le viaduc du canal de dérivation de la Moselle assure le franchissement par la LGV Est des voies de communication suivantes : RD 952, voie ferrée Metz-Nancy, canal de dérivation de la Moselle.

La ligne nouvelle franchit ces trois voies, qui sont sensiblement parallèles, avec un biais moyen de 45 grades. La portée maximale de l'ouvrage de 82,20 m est déterminée par le canal dont la largeur droite entre berges est de 47,00 m (photo 5). Cet ouvrage, localisé au croisement de la LGV Est et de l'axe ferroviaire Metz-Nancy, préserve la possibilité de construire ultérieurement une gare nou-

velle à Vandières, et cette situation a fortement influencé la conception de l'ouvrage. Dans la configuration avec gare, les architectes de l'agence des gares de la SNCF ont souhaité réduire au maximum les cheminements piétons pour les usagers de l'interconnexion LGV - ligne Métrolor en disposant le bâtiment voyageur directement sous le viaduc. Compte tenu de la hauteur de tablier (4,50 m) nécessaire au franchissement de la portée de 82,20 m, le choix des concepteurs s'est porté sur une discontinuité longitudinale du tablier du viaduc afin d'avoir un ouvrage le plus "mince" possible au-dessus du bâtiment voyageur.

L'ouvrage est ainsi composé d'est en ouest de :

- ◆ un tablier quadri-poutres mixte de 4,50 m d'épaisseur, y compris hourdis supérieur en béton, à trois travées de 191,00 m de longueur totale assurant le rétablissement de la voie ferrée Metz-Nancy et du canal de dérivation de la Moselle avec ses chemins de halage associés ;

- ◆ un tablier à poutrelles métalliques enrobées (TPE) de 1,15 m d'épaisseur tout compris, à sept travées de 162,00 m de longueur totale assurant le rétablissement de la RD 952 et de la zone destinée au futur parking de la gare.

A noter que les contraintes géométriques du tracé imposent de disposer un appareil nécessaire à la reprise des dilatations du tablier quadri-poutres sur le tablier TPE. La conséquence d'une telle implantation est la création d'un "portique" indéformable au droit de la travée située sous l'appareil de dilatation.

■ FOCUS SUR LE LOT 33

Description du lot 33

Après avoir franchi la vallée du Rupt de Mad par le viaduc de Jaulny, (tronçon J), la LGV aborde les revers boisés des côtes de la Moselle, en une courbe de 3 km où le tracé va entamer sa descente vers la vallée de la Moselle, creusant au passage un grand déblai, long de 2,5 km, dans "la cuesta de la Moselle". La LGV passe alors au sud du village de Prény puis le tracé se redresse afin de permettre les raccordements vers Metz et Nancy en passant par le déblai des schistes cartons.

Les travaux concernés par le lot 33 sont les suivants :

- ◆ les terrassements généraux, représentant un volume terrassé d'environ 6,5 millions de m³ pour une longueur de 13 km de la LGV et de 11 km des quatre voies de raccordement ;

- ◆ le traitement particulier du déblai des schistes cartons (purge de 450 000 m³ de matériaux après réalisation d'une paroi clouée de 11 000 m²) ;

- ◆ la construction de 13 ouvrages d'art (5 PRO, 6 PRA, 2 SDM) avec réalisation des rétablissements associés ;

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 35

Entreprises

En groupement : Bouygues TP SA (mandataire) - Pertuy Construction - Norpac SA - Eiffel - DTP Terrassements - Screg Est

Bureaux d'études des entreprises Ingérop et CCS (ouvrages d'art), DTP (terrassements)

Montant = 38 M€ HT

Délais : 27 mois

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 36V

Entreprise

Carillion BTP SA

Bureaux d'études des entreprises Arcadis EEG Simecsol (ouvrages d'art), DTP (terrassements)

Montant = 11,7 M€ HT

Délais : 27 mois

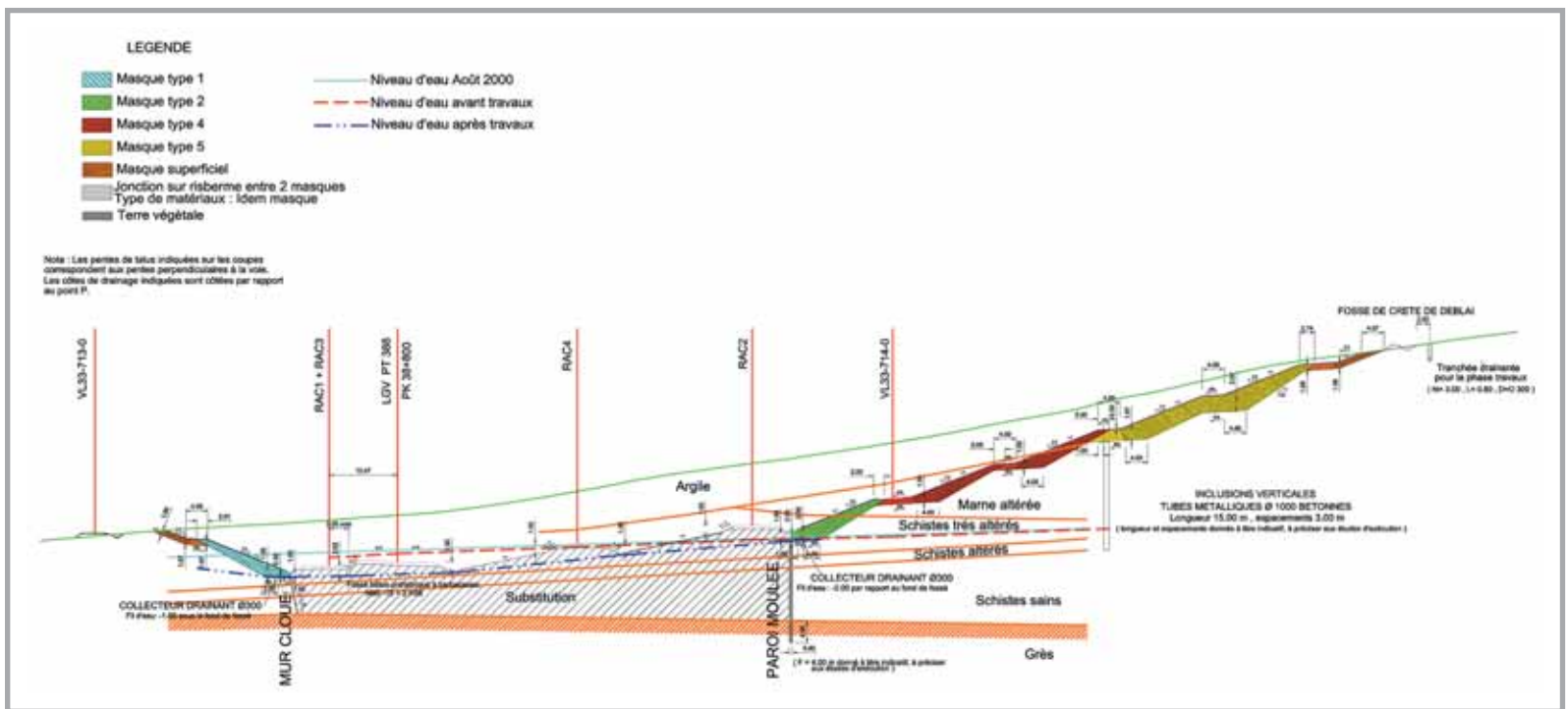


Figure 3
Coupe du déblai
des schistes
Cross section
of the schist earth cut

- ◆ l'élaboration de matériaux "nobles" (avec une résistance $R (LA + MDE) < 80$) pour matériaux de zones inondables, zones humides et masques à partir des calcaires à polypiers extraits de la butte de Prény;
 - ◆ la mise à disposition de matériaux de remblais pour les lots voisins (lots 35, 36P et 36V).
- Le délai d'exécution est de 23 mois pour un montant de 86,6 M€ HT.

Particularités techniques

Le déblai des schistes cartons

Vers l'extrémité Est du tronçon, sont rencontrées en déblai, sur le territoire de la commune de Vandières, les formations géologiques du Toarcien et du Domérien. Ces formations sont recouvertes par des terrains d'altération et superficiels (éboulis, alluvions). Dans ce faciès du Toarcien, on rencontre les schistes cartons qui sont constitués de marnes ou d'argiles marneuses très compactes et indurées, car fortement surconsolidées. Ils sont réputés pour leur aptitude au gonflement et à l'altération suite à leur déchargement et à la modification de leur état hydrique.

L'altération de ces schistes se manifeste par un feuilletage plus ou moins important selon le degré d'altération; selon les études du LRPC de Nancy, le gonflement qui peut être métrique, est provoqué par la présence combinée d'eau et d'air et surtout par des cycles d'humidification et de dessiccation. Les problèmes géotechniques relatifs à cette formation sont des problèmes de stabilité lorsque le matériau est altéré et à l'affleurement sur des pentes naturelles; ainsi de nombreux glissements liés à leur présence sont rencontrés dans la vallée de la Moselle entre Metz et Nancy.

Par ailleurs, localement, des désordres importants ont été constatés après la construction de bâtiments du fait de l'apparition de gonflements alors

que la formation des schistes cartons avait été interceptée.

Le projet est concerné par cette formation dans une zone où prennent naissance les voies de raccordement, avec la voie ferrée Métrolor, comprenant de ce fait six voies ferroviaires sensiblement parallèles (figure 3). Les schistes cartons (très altérés à sains) sont rencontrés au niveau des arases des différentes voies. Ces schistes reposent sur les grès médioliasiques.

Sur une longueur de l'ordre de 450 m, l'épaisseur de ces schistes entre l'arase et les grès varie de 0 à 17 m. La réalisation du déblai proprement dit (500 000 m³) a nécessité, pour en assurer la stabilité, la mise en place de masques (240 000 m³) par plots pour limiter le contact à l'air des premières couches de schistes très altérées et d'inclusions rigides (340 m) constituées de tubes métalliques Ø 1,00 m bétonnés et de forte rigidité ($EI \geq 1100000 \text{ kN/m}^2$).

Un suivi de la stabilité du massif amont a été effectué par des mesures inclinométriques journalières. Toutefois une amorce de glissement superficiel est apparue, mais a pu être stoppée par la mise en œuvre d'inclusions supplémentaires.

La principale contrainte du projet dans cette zone est de garantir une maîtrise totale des gonflements de façon à assurer la stabilité des voies ferrées; ce problème est particulièrement crucial dans ce secteur en raison de la présence d'appareils de voie et des caractéristiques déjà limites sur le plan géométrique (pente) que le relief actuel a imposé. Compte tenu de la complexité du projet, plusieurs solutions ont été étudiées lors des études préliminaires par un groupe de travail pluridisciplinaire, avec la participation du LRPC de Nancy et d'experts. Ces études se sont traduites par la réalisation d'un dossier en novembre 2000 qui présentait une palette très large de solutions :

- ◆ substitution des schistes très altérés ou altérés,

INTERVENANTS MARCHÉ DU LOT 36 P

Entreprises

En groupement : Bouygues TP SA (mandataire) - Pertuy Construction - Norpac SA - DTP Terrassements

Bureaux d'études des entreprises
BE Arlaud (ouvrages d'art), DTP (terrassements)

Montant = 7,6 M € HT

Délais : 24 mois

Photo 6
Le déblai
des schistes cartons
en cours d'exécution
*Paper schist earth cuts
being performed*



Photo 8
Remblaiement
de la purge en cours
*Backfilling
of the drainage system
in progress*



Photo 9
Extraction des calcaires
du déblai de Prény
*Extraction of limestones
from the Prény earth cut*



- ▶ jusqu'aux schistes sains, avec et sans étanchéité en argile sur les schistes sains ;
- ◆ substitution totale des schistes très altérés, altérés et sains ;
- ◆ solution mixte avec substitution totale des schistes très altérés, altérés et sains lorsque l'épaisseur totale est inférieure à 5,00 m ;
- ◆ dalles sur pieux et étanchéité en argile en dehors de ces zones ;
- ◆ dalles ancrées dans les grès, sans étanchéité sur les schistes. Pour cette solution les dalles an-



© Photothèque Sctauroute : E. Benard

Photo 7
Réalisation du mur cloué
Construction of the soil-nailed wall

crées remplacent les dalles sur pieux. En dehors des zones de dalles ancrées, il est prévu une substitution totale des schistes comme pour la solution avec "dalles sur pieux".

Ce dossier a permis de faire ressortir les trois solutions technico-économiques les plus intéressantes :

- ◆ substitution jusqu'aux schistes sains avec étanchéité en argile ;
- ◆ solution mixte : dalles sur pieux et substitution totale des schistes jusqu'aux grès ;
- ◆ substitution totale des schistes très altérés, altérés et sains jusqu'aux grès.

Compte tenu des enjeux exposés ci-dessus et des analyses effectuées la solution "substitution totale" qui répondait le mieux aux contraintes de pérennité de la plate-forme a été retenue, ce qui a conduit à réaliser une purge de 450000 m³ en mettant en œuvre un dispositif confortatif provisoire (hauteur de 2,50 m à 17 m côté sud) dont le coût représente environ 10 % du montant du marché (photo 6).

Deux types de soutènements ont été étudiés : murs cloués et paroi moulée. Conformément au référentiel technique, s'agissant d'un ouvrage provisoire, les coefficients de sécurité globaux devaient être supérieurs à 1,3.

En phase de consultation, la solution de base comprenait une paroi moulée côté sud et ouest et un mur cloué côté nord. La solution retenue lors de la mise au point du marché fut l'option tout mur cloué pour une surface de 11 000 m² (photo 7).

La réalisation des murs de soutènement par plots successifs a démarré mi-septembre 2003 pour s'achever en avril 2004. Le comblement de la pur-

ge a été réalisé à partir des matériaux calcaires du site (photo 8).

Une contrainte à prendre en compte pendant la réalisation de la purge était liée aux conditions hydrogéologiques du site. En effet dans cette zone, à l'état naturel, la nappe aquifère est située soit au-dessus, soit très proche des plates-formes de la LGV et des RACS ; la réalisation de la substitution totale des schistes a provoqué un rabattement de la nappe pendant les travaux, mais l'évaluation du débit d'exhaure pendant cette phase a été difficile à appréhender avec un modèle de calcul du fait que les circulations se trouvaient dans un milieu non granulaire avec des écoulements dans des fissures ou des fractures.

En définitif, la réalisation de la purge a pu être réalisée sans contraintes majeures, les débits constatés ont été conformes aux études réalisées par le bureau d'études ARPE.

Le déblai de la butte de Prény

Ce déblai de 2 600 m de long nécessite d'extraire 2 100 000 m³ de matériaux ; il constitue la ressource principale du lot 33 et des lots 35, 36P et 36V.

Quatre types de matériaux constituent ce déblai : des argiles de surface, les calcaires bûlins, les marnes de Longwy et les calcaires à polypiers.

La difficulté provient du fait que les calcaires à polypiers, les seuls valorisables en matériaux de masques, de ZI et de ZH, sont au niveau inférieur du déblai.

L'entreprise Valérian opta pour une solution d'extraction en gradins, ce qui permit de dégager assez rapidement le toit des polypiers en mettant à disposition des lots extérieurs les calcaires plus tendres, les bûlins (photo 9). Les caractéristiques des calcaires à polypiers permirent de les extraire par minage en talus subvertical en prévoyant néanmoins un piège à cailloux de 6 m de largeur.

| Tronçon E | | |
|-----------------------|---------------------|------------|
| | Quantités initiales | % réalisés |
| Déblais (m3) | 10 800 000 | 80% |
| Remblais (m3) | 5 850 000 | 75% |
| Bétons (m3) | 143 000 | 40% |
| Aciers HA (t) | 16 770 | 42% |
| Aciers charpentes (t) | 12 900 | 70% |
| Pieux (ml) | 13 400 | 99% |

Tableau I
L'avancement global des travaux du tronçon E à fin mars 2004

Overall progress on section E work at the end of March 2004

ABSTRACT

From the Meuse Valley to the Moselle Valley

G. Latroy

Section E, 43 km long, for which Scetauroute is performing project management, extends from the Meuse to the Moselle; its special features are as follows :

- Environmental constraints due to the passage through the Lorraine regional natural park ;
- Constraints due to connection of the line to the Metz-Nancy Métrolor regional railway line ;
- Passage through the Meuse and Moselle valleys, requiring for the latter a viaduct 1510 metres long, the longest on the eastern High-Speed Train Line ;
- Of the seven work sections, work section 33 includes the earth-cut crossing of the paper schist formation, a material that swells strongly in air and water, which led to the construction of a 450,000 cu. m drainage system with temporary retaining walls to ensure that no swelling of the line's subgrade may occur during the operating phase.

RESUMEN ESPAÑOL

Desde el valle del Mosa hasta el valle del Mosela

G. Latroy

El tramo E, de una longitud de 43 km, cuya dirección de las obras corre a cargo de Scetauroute, se extiende desde el Mosa hasta el Mosela y presenta las peculiaridades siguientes :

- imperativos medioambientales debido a la travesía del Parque natural regional de Lorena.
- imperativos derivados de la conexión con la línea a la vía férrea regional Metrolor Metz-Nancy,
- franqueo del valle del Mosa y del Mosela, que ha precisado para este último la construcción de un viaducto de 1.510 m, que es aquel de mayor longitud de la línea de gran velocidad Este,
- entre los siete lotes de obras, el lote 33 incluye el franqueo en desmonte de los esquistos cartonés, material que presenta hinchamientos sumamente importantes en contacto con el aire y el agua, lo que ha precisado ejecutar un saneado de 450.999 m³, con muros de sostenimiento provisionales para garantizar que no se produzca ninguna

dilatación de la plataforma de la línea una vez en su etapa de operación ferroviaria.

Lot 34B : raccordement à la ligne ferroviaire

Le lot 34B, situé sur le département de la Moselle, permettra de raccorder la ligne nouvelle sur le réseau ferré actuel en direction, d'une part de Strasbourg, et d'autre part de Forbach.

Il se développe sur une longueur cumulée d'infrastructure ferroviaire de 12 km dont 8 km en voie unique.

Il est conçu par le groupement de maîtrise d'œuvre SNCF-Arcadis et construit par le groupement d'entreprises GTM Terrassement (mandataire), GTM Génie civil, Chantiers Modernes, Weiler, Campenon Bernard TP, Eiffel, Menard, Deschiron et Eurovia.

Ce lot présente d'importantes spécificités en terme d'ouvrage d'art, de terrassement et d'environnement.

Pour les ouvrages, il se caractérise par une densité largement supérieure à la moyenne de la ligne du fait du raccordement aux voies ferrées exploitées et du changement de sens de circulation qui s'effectue à droite en Alsace et en Moselle.

Pour les terrassements, la traversée de l'importante zone de terrains compressibles de la vallée de la Nied nécessite le recours à des techniques élaborées de confortement des sols pour l'assise des ouvrages d'art et des remblais.

Pour l'environnement, la vallée de la Nied, où s'étendent des prairies naturelles salées (prés salés), présente des milieux caractérisés par des habitats biologiques classés d'intérêt communautaire prioritaire par la directive européenne "Habitats". Ce milieu, très rare en France et en Europe, doit prochainement intégrer le réseau Natura 2000.



Photo 1
Lot 34B, le raccordement de la LGV Est européenne sur la ligne ferroviaire vers Strasbourg

Work section 34B, linking of the East European High-Speed Train Line to the railway line toward Strasbourg

Le lot 34B de la LGV Est européenne constitue le dernier des lots travaux du projet en première phase. Le marché, lancé le 6 janvier 2003, intègre une approche partenariale ayant permis de désigner le groupement le mieux disant, avec un niveau de risque prévisible et une incitation à respecter les coûts.

Ce lot représente plus de 2,5 millions de m³ de terrassement et comporte 16 ouvrages d'art pour un coût total d'environ 48 millions d'euros HT.

LE DESCRIPTIF DU LOT (photo 1)

Le projet se situe en secteur rural et traverse le département de la Moselle sur les communes de Tragny, Flocourt, Thimonville, Saint-Epvre, Morville-sur-Nied, Baudrecourt, Vatimont, Han-sur-Nied, et Hery.

Ce lot est exceptionnel à plus d'un titre et notamment du fait de :

- ◆ sa densité d'ouvrages d'art largement supérieure à la moyenne de la ligne (16 ouvrages d'art, dont 6 ouvrages non courants) ;
- ◆ la présence d'importantes zones compressibles dans la vallée de la Nied imposant des techniques

constructives particulières (confortement de sol, instrumentation, suivi) ;

- ◆ le raccordement sur les voies ferrées exploitées Reding - Metz-Ville et Rémyilly - Stiring-Wendel et le changement de sens des circulations ferroviaires (travaux sous interception de circulation, sécurité des circulations, planification) ;

- ◆ l'importance de la zone inondable traversée (contrainte planning, protection des habitations, dimensionnement des ouvrages) ;

- ◆ la présence de milieux naturels remarquables et d'espèces protégées (Natura 2000, prés salés intérieurs, troscart maritime) ;

- ◆ la présence de sites archéologiques d'importance.

LES OUVRAGES D'ART SPÉCIFIQUES AU LOT

Le viaduc de Baudrecourt (photo 2)

Le viaduc de Baudrecourt, le dernier des 300 km de la première phase de la LGV Est européenne, permet le franchissement de la ligne actuelle Réding - Metz et de la future voie de raccordement de

de la LGV Est vers Strasbourg

la LGV aux voies ferrées existantes. Il s'inscrit dans un site très plat, souvent inondé, seulement barré par le remblai de la voie ferrée existante. Cet ouvrage métallique à poutres latérales porte une voie unique et assure le changement de sens des circulations ferroviaires. En effet, le sens privilégié des circulations ferroviaires est à droite en Alsace et en Moselle, alors qu'il est à gauche dans le reste de la France.

Le viaduc de Baudrecourt permettra ainsi aux futurs TGV, de relier dès 2007, Strasbourg, la Suisse et l'Allemagne, dans l'attente de la réalisation de la seconde phase de la LGV entre Baudrecourt et Vendenheim.

Afin d'intégrer cet ouvrage d'art dans l'environnement remarquable de la vallée de la Nied française, le viaduc de Baudrecourt a fait l'objet d'un traitement architectural particulier sur proposition de Jean-Louis Jolin, architecte messin, en concertation avec la DIREN Lorraine et les riverains.

Ce viaduc, le plus grand des ouvrages d'art du projet en Moselle, d'une longueur totale de 287 m et d'une masse de 1 610 t repose sur des fondations de plus de 15 m de profondeur. La partie métallique de l'ouvrage est constituée de deux poutres latérales de hauteur variable de 3,75 m à 5,25 m. Ces poutres sont reliées par des entretoises qui seront par la suite enrobées de béton. L'ensemble est porté par cinq piles en béton armé, en forme de losange en pied.

La société GTM, mandataire du marché de travaux du lot 34B est en charge de la réalisation de cet ouvrage. La société Eiffel réalise quant à elle la partie métallique de cet ouvrage.

La mise en place de l'ouvrage à son emplacement définitif s'est effectuée par lancement au-dessus de la voie ferrée Metz - Réding de nuit et lors de week-ends. Pour la sécurité des circulations, cette opération particulière, qui a été assurée par des treuils de traction et de retenue ancrés au pied d'une pile du viaduc, s'est effectuée sous interception des circulations ferroviaires.

Ces périodes d'interception doivent être programmées de longue date et ne peuvent être modifiées par la suite, ce qui impose à l'entreprise de respecter scrupuleusement ses délais de réalisation.

L'ouvrage foncé sous les voies existantes (photo 3)

Au droit du viaduc, un ouvrage hydraulique de 442 t constitué d'un élément cadre en béton armé de 21 m de longueur a été foncé sous la voie ferrée



Photo 2
Le viaduc
de Baudrecourt

*The Baudrecourt
viaduct*



Photo 3
L'ouvrage foncé sous la voie
ferrée existante

*The structure driven under
the existing railway track*

Metz-Réding sur une longueur totale de 20 m. Cet ouvrage a été assemblé sur un radier de préfabrication, au droit de son emplacement définitif. L'opération de fonçage a été réalisée à travers le talus des voies ferroviaires par traction au moyen de câbles extérieurs, ancrés au radier de préfabrication. L'intervention s'est déroulée sans in-

Jean-Claude Mathieu



CHEF DU CENTRE
OPÉRATIONNEL DE METZ
Ingénierie SNCF
MOEGC groupement SNCF -
Arcadis

Laurent Hoffmann



CHARGÉ DE TRAVAUX
Ingénierie SNCF
MOEGC groupement SNCF -
Arcadis

Laurent Flouest



RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT
DU CENTRE
OPÉRATIONNEL DE METZ
Ingénierie SNCF - MOEGC
groupement SNCF - Arcadis

Valérie Poje

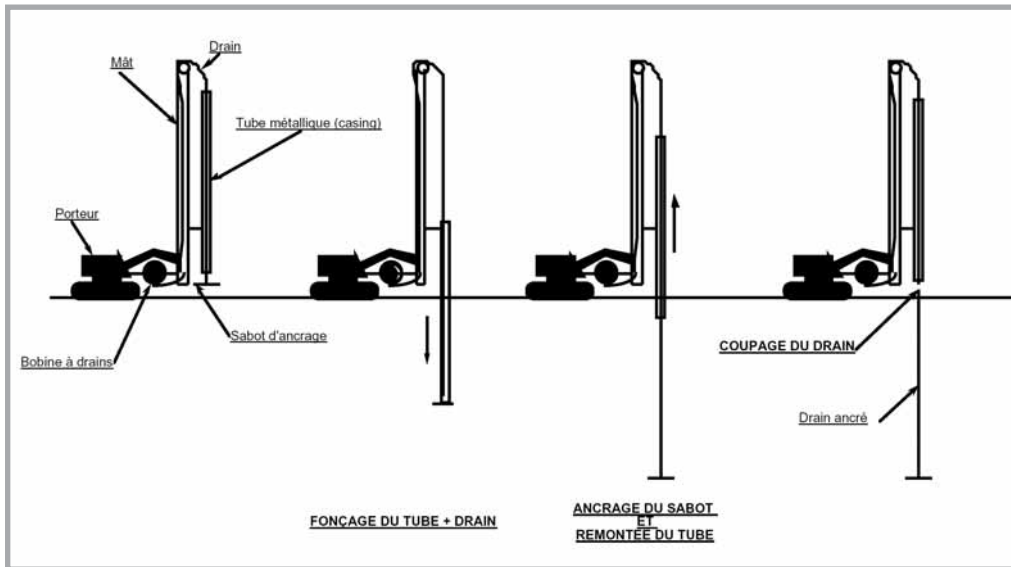


GÉOLOGUE
Arcadis
MOEGC groupement SNCF -
Arcadis

terception de circulation, à l'abri de tabliers auxiliaires posés sur camarteaux.
La réalisation de cet ouvrage a été déterminante dans le déroulement du chantier, car elle garantissait aux riverains la non-aggravation de l'incidence des crues actuelles de la Nied française pendant la phase travaux.

Figure 1
Schéma de principe de mise en place des drains verticaux

Schematic diagram of the installation of vertical drains



LES TECHNIQUES DE RENFORCEMENT DE SOL

La qualité des sols

Au droit de la zone de la vallée de la Nied française, le projet s'appuie sur les alluvions récentes. Celles-ci sont constituées de limons et d'argiles plastiques à très plastiques, de couleur brun-ocre-verdâtre à gris noir. Elles renferment souvent des niveaux d'argile vasarde ou organique, mais également des passages de tourbe. Leur épaisseur reconnue dans les sondages varie de 3,60 à 6,50 m. Les alluvions récentes reposent sur les alluvions anciennes dont l'épaisseur varie de 1,30 m à 4,70 m. Celles-ci sont représentées par une alternance de niveaux sableux et graveleux et de niveaux marneux et silteux rougeâtres à gris verdâtres.

Le substratum est représenté par les marnes bariolées inférieures, constituées d'alternances de niveaux marneux raides et de niveaux argileux, de passages indurés à décomprimés, voire très décomprimés. On note la présence de calcite et de gypse sous forme de filons, cristaux ou nodules. La nappe concernée ici est la nappe d'accompagnement de la Nied et de ses affluents (La Rotte, ainsi que de nombreux fossés). Le niveau de la nappe est subaffleurant en période sèche, la zone étant fréquemment inondée en période humide.

Il s'avère que la qualité des sols en place ne permet pas d'atteindre les objectifs de consolidation dans les délais du chantier sans mise en place de dispositions constructives particulières.

Les méthodes constructives retenues

A la suite des campagnes de reconnaissance successives réalisées durant les phases d'avant-projet et afin de lever toutes incertitudes relatives aux délais de consolidation des sols, un remblai d'essai a été réalisé.

Les dispositions constructives retenues à l'issue de ces expérimentations sont de plusieurs natures :

- ◆ accélération de la vitesse de consolidation par drains verticaux, substitution dynamique et mise en œuvre d'une surcharge de remblai ;
- ◆ amélioration des caractéristiques mécaniques des sols en place par substitution dynamique et/ou colonnes pilonnées, ou par purges ;
- ◆ rigidification des sols en place par colonnes à module contrôlé.

Ces solutions de base répondaient aux connaissances initiales du site. Elles ont été complétées en cours de construction par une adaptation constituée par des inclusions rigides.

L'ensemble du traitement de ces zones compressibles a été réalisé par l'entreprise Ménard-Soltraitement, qui a utilisé les techniques expliquées dans les trois points suivants.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TRONÇON F

Localisation

Le tronçon F sous maîtrise d'œuvre du groupement SNCF-Arcadis se développe sur les deux départements lorrains de Meurthe-et-Moselle et Moselle. C'est le tronçon le plus oriental de la première phase de la LGV.

Il prend son origine à l'ouest en rive droite de la Moselle sur la commune de Pont-à-Mousson. Son extrémité Est est composée des raccordements au réseau ferroviaire sur les communes de Hery et Baudrecourt, qui permettent les dessertes vers Strasbourg et l'Allemagne.

Les points particuliers du tronçon sont :

- les zones compressibles des fonds de vallées,
- les déblais importants des côtes de Moselle,
- les franchissements hydrauliques, routiers et autoroutiers du secteur de l'A31,
- le franchissement des voies ferrées existantes et les contraintes de planning s'y rapportant,
- la présence de milieux naturels et d'espèces protégées, notamment les milieux salés de la vallée de la Nied,
- le déficit de matériaux nobles qui a

nécessité l'approvisionnement extérieur important, anticipé plus d'un an avant le chantier.

Le marché de génie civil du lot 34A a été confié au groupement d'entreprises Fougerolle Ballot (mandataire), Bec, Demathieu et Bard, Muller TP, Trabet, Lingenheld en août 2003. Sa durée totale est de 28 mois pour un montant de 118,7 M€.

Le marché de génie civil du lot 34B a été confié au groupement d'entreprises GTM Terrassement (mandataire), Deschiron SNC, Menard Soltraitement, GTM Génie Civil, Chantiers Modernes, Campenon Bernard TP, Weiler, Eurovia, Eiffel en janvier 2003.

Sa durée totale est de 26 mois pour un montant de 47,5 M€.

Le tronçon F en quelques chiffres

- Déblais : 7,6 Mm³
- Remblais : 3,55 Mm³
- Béton (fondations spéciales) : 5 200 m³
- Béton : 15 684 m³
- Couche de forme : 358 600 m³
- Sous-couche : 106 900 m³
- Ouvrages d'art : 44

Une consolidation par drains verticaux

Le drainage vertical permet d'augmenter considérablement la vitesse de consolidation des terrains compressibles peu perméables. Les drains utilisés, drains plats de 10 cm de largeur et 4 mm d'épaisseur, sont composés d'une âme centrale en PVC entourée d'un filtre géotextile anti-colmatage.

Le préchargement classique, par la mise en place d'un remblai mis en œuvre par couches, est utilisé en complément du drainage vertical pour atteindre une consolidation primaire totale et une garantie de plusieurs dizaines d'années sur la consolidation secondaire.

Les calculs de prédimensionnement menés ont défini un maillage de drains verticaux de 1,50 m x 1,50 m, les profondeurs varient de 5,00 m à 8,50 m. Ils ont été mis en place par fonçage (figure 1).

Les drains sont ainsi foncés, à l'aide du casing (tube creux) dans le sol jusqu'au refus (RD = 50 bars) de façon à obtenir un ancrage (environ 50 cm) dans les niveaux plus consistants situés sous les terrains compressibles.

Une substitution dynamique

Cette méthode est une extrapolation du compactage dynamique dans laquelle l'énergie de pilonnage sert à constituer par "substitution dynamique" de larges massifs granulaires compacts qui renforcent le sol mou selon le principe des colonnes ballastées.

Sur le lot 34B, ces plots ballastés ont un diamètre de 2,5 m et une profondeur d'environ 5,00 m, leur maille moyenne est de 6,0 m x 5,5 m, avec limitation du traitement aux 2/3 des talus.

En pratique, il s'agit de laisser tomber en chute libre, d'une hauteur de 15 à 25 m, une masse pesante 15 t (figure 2).

Ces plots ballastés sont mis en œuvre en alternant les phases de remblaiement et de pilonnage à l'aide d'une masse poinçonnante, de façon à obtenir une pénétration suffisante du remblai au travers des couches molles sous-jacentes.

Si nécessaire, une pré-excavation peut être réalisée à l'aide d'une pelle mécanique de façon à faciliter la pénétration de la masse en profondeur et limiter les éventuels gonflements de surface.

Des colonnes à module contrôlé

Les colonnes à module contrôlé sont des inclusions semi-rigides et cimentées dont les modules de déformation sont de 5 à 30 fois plus faibles que ceux du béton. Elles sont mises en œuvre comme procédé de renforcement de sol. Ce type de traitement ne vise donc pas à réaliser des pieux devant supporter la totalité de la charge apportée par l'ouvrage, mais à réduire la déformabilité globale du sol à l'aide d'éléments semi-rigides régulièrement répartis.

Les colonnes à module contrôlé sont réalisées par

une vis spéciale à refoulement du sol. Cet outil creux permet l'alimentation des colonnes par la pointe (figure 3).

L'outil est vissé dans le sol jusqu'à la profondeur désirée puis lentement remonté. Un mortier fluide est alors injecté au cours de la remontée dans la cavité de sol par l'âme de la vis spéciale, de façon à constituer une colonne de 400 mm de diamètre. Afin de limiter les tassements sous remblais (pendant et après mise en œuvre) et en fonction des zones à traiter, les calculs aux éléments finis ont déterminé différents maillages. Ceux-ci varient de (1,00 m x 1,50 m) à (2,00 m x 1,50 m).

La profondeur des colonnes à réaliser sur l'ensemble du chantier a été estimée à partir des sondages préliminaires réalisés lors de la phase étude.

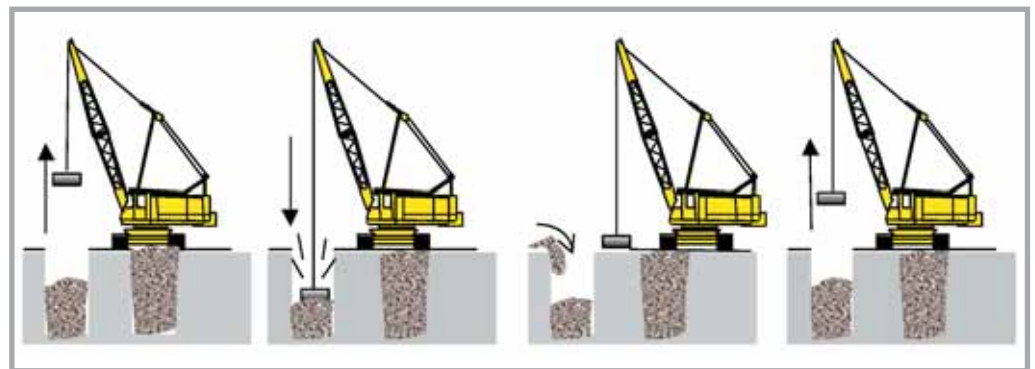


Figure 2
Schéma de principe d'exécution des plots ballastés
Schematic diagram of the execution of ballast pads

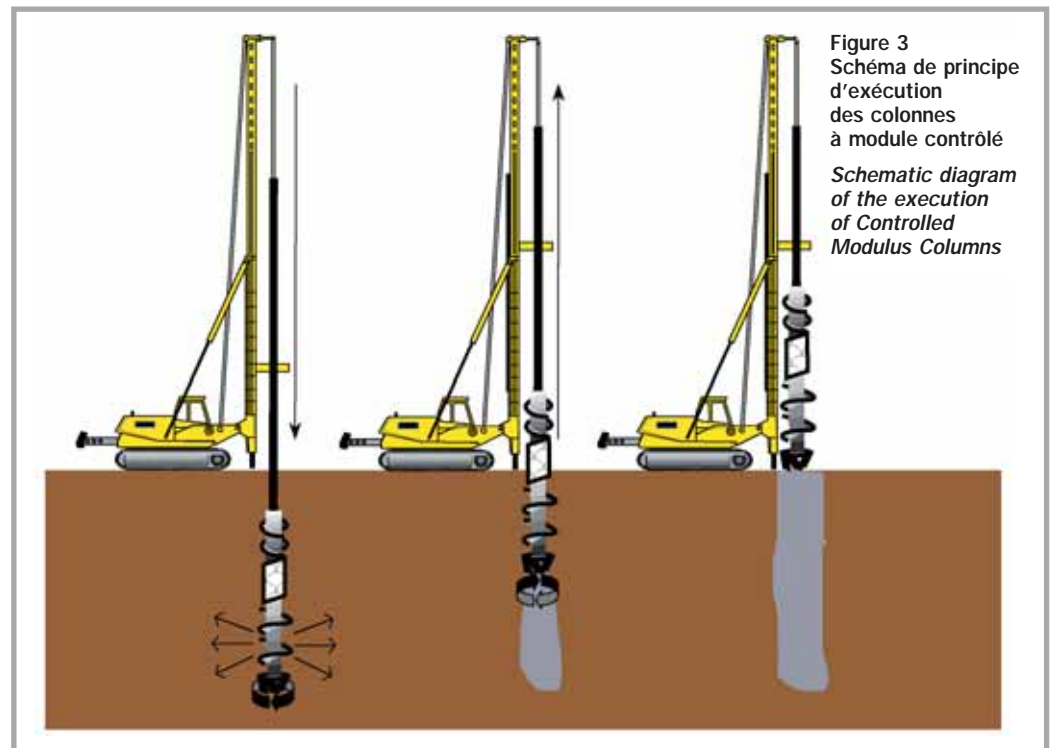


Figure 3
Schéma de principe d'exécution des colonnes à module contrôlé
Schematic diagram of the execution of Controlled Modulus Columns

Photo 4
Le troscart maritime :
espèce végétale protégée

Seaside arrow-grass:
a protected plant species



► Le suivi des opérations

Sur le plan technique

Les diverses phases de consolidation de sol font l'objet d'un suivi au moyen d'une instrumentation spécifique :

- ◆ profilomètres, tassomètres, repères topographiques, inclinomètres pour le contrôle des déformations verticales et horizontales ;
- ◆ cellules de pression interstitielle et piézomètres pour le suivi de l'évolution des surpressions interstitielles.

Les mesures sont réalisées suivant un plan de contrôle prédéfini avant le début des travaux dans une procédure particulière qui prévoit également des seuils d'alerte et une succession de points d'arrêt dans le déroulement des travaux : mesures initiales de l'instrumentation, fin de consolidation de chaque phase, fin de consolidation générale et enlèvement de la surcharge ou décaissement localisé...

Sur le plan de l'organisation

La spécificité et la variabilité des terrains rencontrés ont conduit le maître d'œuvre à l'établissement d'une chaîne de prévention et de gestion des risques, de la conception à la réalisation.

La chaîne de prévention a concerné des actions en amont du risque, comme :

- ◆ la connaissance des aléas de la zone, en prenant en compte le poids des incertitudes dues aux

sols compressibles par des actions de reconnaissance, la modélisation géotechnique, et un remblai d'essai ;

- ◆ la connaissance du risque lié à la rupture des remblais, en prenant en compte que la tenue des remblais est un problème de mécanique des milieux continus appliqué à un matériau discontinu. C'est ainsi que l'on ajuste des modèles de comportement qui peuvent n'être qu'approximatifs par rapport à la réalité ;

- ◆ la connaissance des enjeux, économiques et temporels liés :

- à la conception, en identifiant l'aléa et en quantifiant les risques par une étude spécifique intégrant les particularités de ce site,

- à la construction, en s'appuyant sur la compétence des acteurs de la construction qui s'exerce dans un contexte incertain, tant sur le comportement des matériaux que sur l'environnement géologique et hydraulique.

Ces connaissances ont conduit à des actions de recherche de parades et de couvertures des risques identifiés ayant pour objet de minimiser les aléas ou de réduire la vulnérabilité des enjeux et aboutissant à des actions de prévention :

- ◆ rigidification des sols ;
- ◆ méthode observationnelle.

■ L'ENVIRONNEMENT

L'état initial du site

Les raccordements au réseau ferroviaire existant traversent la vallée inondable de la Nied française où s'étendent des prairies naturelles salées, les prés salés intérieurs de la vallée de la Nied. Ces milieux sont caractérisés par des habitats biologiques classés d'intérêt communautaire prioritaire par la directive européenne "Habitats".

C'est un milieu très particulier à protéger, très rare en France et en Europe, et qui doit prochainement intégrer le réseau Natura 2000.

De plus, on note au sein de ces prés salés le développement d'une flore protégée tout à fait particulière et adaptée à ces milieux salés comme le troscart maritime (plantes halophiles) (photo 4).

En collaboration avec de nombreux partenaires, et à la suite des études d'avant-projet et de projet, il a été possible de définir les impacts du projet et les mesures environnementales de suppression, de réduction ou de compensation de ces impacts.

Les mesures environnementales

Afin de limiter au maximum les impacts, notamment pendant la phase des travaux, les mesures retenues sont :

- ◆ un balisage des zones sensibles afin d'éviter leur destruction ;

- ◆ un prélèvement et un déplacement des pieds de troscart maritime touchés par le projet, ainsi qu'un prélèvement et une conservation de graines ;
- ◆ une protection de plusieurs sites grâce à la signature d'une convention de gestion et d'un arrêté de protection de biotope ;
- ◆ une expérimentation de restauration de prairie salée ;
- ◆ des rejets respectant le seuil de matières en suspension conforme à l'arrêté préfectoral loi sur l'eau ;
- ◆ l'interdiction de tout rejet d'hydrocarbures ;
- ◆ le suivi des débits prélevés ;
- ◆ la réalisation de pêches de sauvegarde avant travaux dans le lit mineur des cours d'eau ;
- ◆ le déboisement-défrichement de la ripisylve et de la prairie hors périodes sensibles ;
- ◆ la réalisation du suivi des opérations pendant 5 ans par un bureau d'études local spécialisé ;
- ◆ la réalisation de zone de compensation de volume hydraulique afin de limiter l'impact des crues dans la vallée ;
- ◆ la mise en place d'un dispositif d'alerte chantier en cas de crue.

Le patrimoine culturel

Suite aux investigations menées de 2000 à 2002, un site archéologique d'importance a été identifié sous le tracé du lot 34B sur le territoire de la commune de Saint-Epre.

Ce site a fait l'objet d'une campagne de fouille au cours de l'année 2003, en parallèle avec le début des travaux de terrassement.

Cette opération riche d'enseignements a permis de mettre à jour une succession d'habitats allant de la protohistoire au bas Moyen-Âge, en passant par l'époque gallo-romaine.

■ LA NOUVELLE CONTRACTUALISATION

Le Mémoire d'évaluation des risques prévisibles - MERP^{®1}

Le marché du lot 34B intègre une gestion des risques dans son processus de passation puis de gestion, selon les principes développés dans l'article sur le viaduc de l'Ourcq par ailleurs, et avec pour objectif essentiel une meilleure maîtrise du coût final prévisionnel.

Lors de la passation du marché, l'attribution au mieux disant a porté sur un périmètre qui inclut l'incertitude sur les métrés et les risques prévisibles. Au préalable, le maître d'œuvre a réalisé, outre le traditionnel détail estimatif, une analyse de risques au terme de laquelle il a listé les risques identi-

fiables, évalué leurs probabilités d'occurrence, défini les solutions de couverture de ces risques et a estimé les coûts de celles-ci.

Le dossier de consultation comporte ainsi un MERP et une nomenclature des risques prévisibles sous forme d'un questionnaire général et particulier à compléter par l'entreprise et dont l'objectif est d'apprécier de manière dynamique et prospective la qualité de l'étude et de l'offre relativement aux risques prévisibles.

Dans le cadre de son offre, l'entreprise a non seulement répondu aux interrogations du maître d'œuvre, en s'engageant sur les prix unitaires et les conséquences induites par la survenue des risques identifiés, mais elle a aussi été tenue d'évaluer et de définir ses propres probabilités d'occurrence, les solutions de couverture et leurs coûts. Elle a aussi la possibilité d'ajouter à la liste, des aléas qu'elle a identifiés.

Son offre a ainsi porté sur un montant dit de référence, incluant à la fois le détail estimatif, la somme à valoir et une valorisation des risques prévisibles. Le marché comporte une nomenclature des risques prévisibles.

Il s'agit à la fois des risques d'ores et déjà identifiés à la signature du marché, avec les prix unitaires qui couvrent les conséquences induites par la survenue du risque en terme de délais, de coûts et de solution de couverture, et des risques prévisibles non identifiés dans la nomenclature, se définissant comme des sujétions prévisibles au vu du marché et des pièces consultatives qui ont été mises à disposition de l'entreprise lors de la consultation et pour partie contractualisées.

Tous ces risques prévisibles identifiés et non identifiés sont réputés inclus dans le montant de référence.

A chaque réunion spécifique d'avancement (25 %, 50 %, 75 %), le montant total lié aux risques survenus est calculé pour la période écoulée par l'entreprise et soumis au maître d'œuvre, puis au maître d'ouvrage.

L'acceptation du maître d'ouvrage fera l'objet d'un avenant sur le périmètre spécifique des risques survenus.

Le marché inclut une formule d'intéressement dont le pivot est le montant de référence.

Le partenariat

Ce souci de maîtrise des risques s'inscrit dans une démarche partenariale visant à réaliser les travaux de génie civil du lot 34B dans les délais prévus, à un coût final respectant le montant du marché en optimisant sa réalisation en termes de sécurité, qualité et respect de l'environnement. Ainsi, RFF le maître d'ouvrage, SNCF-Arcadis le maître d'œuvre, GTM, le mandataire du groupement d'entreprises, se sont engagés dans une charte de partenariat.

LES PRINCIPAUX MOYENS ET QUANTITÉS DU LOT 34B

Cellule "Terrassement"

- Déblais : 1 428 000 m³
- Remblais : 997 000 m³
- Dépôts : 643 000 m³
- Chiffre d'affaires : 26 342 364,67 €

Effectifs

- Encadrement : 20 à 25 personnes (+ 3 à 7 chefs d'équipe)
- CNRO : environ 50 à 70 personnes (dont 30 en poste)

Matériel

- Décapeuses (1 échelon + matériel d'accompagnement)
- Pelles de 50 à 75 t (1 à 2 échelons + matériel d'accompagnement + matériel de finition)

Cellule "Ouvrages d'art"

- Ouvrages d'art courants : 10
- Ouvrages d'art non courants : 6
- Bétons : 16 100 m³
- Aciers : 1 350 t
- Coffrages : 7 300 m²
- Structure métallique : 1 800 t
- Chiffre d'affaires : 19 903 642,19 €

Effectif

- Encadrement : 10 à 12 personnes (+ 2 à 5 chefs d'équipe)
- CNRO : environ 40 à 60 personnes

Cellule "Chaussées"

- 2 rétablissements de communications, y compris les chaussées et les équipements de sécurité.
- Matériaux non traités : 8 361 m³
- Matériaux traités : 14 430 m³
- BBM/BBSG : 1 666 t
- Chiffre d'affaires : 12 497 49,29 €

Effectif

- Encadrement : 5 personnes (+ 1 à 3 chefs d'équipe)
- CNRO : 10 à 20 personnes

(1) Le MERP[®] est un concept créé par Lucien Guttières, ingénieur ECP, expert génie civil auprès la Cour d'Appel de Paris.

► Dans cette perspective, tous les acteurs du projet ont été réunis pour énoncer les engagements nécessaires à la réussite de la construction du lot 34B.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS DU LOT 34B

Maître d'ouvrage

Réseau Ferré de France

Maître d'œuvre génie civil

Groupement SNCF-Arcadis

Entreprises

En groupement d'entreprises : GTM Terrassement (mandataire), GTM Génie civil et Services, Chantiers Modernes, Weiler, Campenon Bernard TP, Eiffel, Menard, Deschiron, Eurovia

Sous-traitants

Scetauroute, SNC, Sogea Est, SARL de Runz, Armatures de France, Armatures SA, CERT Rennes, Durmeyer, Ingerop Grand Est, JMB Méthodes, SA Solen Essais, Botte Sade Fondation, VSL, SCAL, SMC, Terrafor Schoonberg, Tournaud, Capremib, Technilor, S.G.B, FIB, Borifer, Cardem, Comely, Sobesol, Sepia

ABSTRACT

Work section 34B : linking of the eastern High-Speed Train Line to the railway line toward Strasbourg

J.-Cl. Mathieu, L. Hoffmann L. Flouest, V. Poje

Work section 34B, located in the Moselle region, will enable the new line to be linked to the current railway system in the direction of Strasbourg on the one hand and Forbach on the other hand. It spreads over a total railway infrastructure length of 12 km, including 8 km of single track.

It is designed by the SNCF-Arcadis project management consortium and constructed by a consortium consisting of GTM Terrassement (leader), GTM Génie civil, Chantiers Modernes, Weiler, Campenon Bernard TP, Eiffel, Menard, Deschiron and Eurovia.

This work section has very special features in terms of engineering structures, earthworks and the environment. As regards the structures, it is characterised by a density well above the average for the line due to its connection to the railway lines in operation and due to the change of traffic direction, with the trains running on the right in Alsace and Moselle.

Concerning the earthworks, since the line passes through the large area of compressible land in the Nied Valley, sophisticated soil consolidation techniques must be used for the foundation work on engineering structures and embankments.

As for the environment, the Nied Valley, with its stretch of natural salty meadows (salt marshes), offers environments characterised by biological habitats classified as of priority Community interest by the European "Habitats" directive. This environment, very rare in France and Europe, is soon to be included in the Natura 2000 network.

nueva línea con la red ferroviaria actual en dirección, en primer lugar de Estrasburgo y, en segundo lugar, con Forbach. Su longitud acumulada representa una infraestructura ferroviaria de 12 km, de los cuales 8 km en vía única.

Su diseño ha sido efectuado por el grupo de dirección de obras SNCF-Arcadis, y su construcción corre a cargo de la agrupación de empresas GTM Terrassement (apoderado), GTM Génie civil, Chantiers Modernes, Weiler, Campenon Bernard TP, Eiffel, Menard, Deschiron y Eurovia.

Este lote presenta importantes singularidades en términos de gran estructura, de movimientos de tierras y de medio ambiente.

Por lo que respecta a las estructuras, se destaca por una densidad ampliamente superior del promedio de la línea, debido a la conexión con vías férreas operadas y del cambio de sentido de circulación que se efectúa por la derecha en Alsacia y en Mosela.

Para los movimientos de tierras, la travesía de la importante zona de terrenos compresibles del valle del Nied precisa recurrir a procedimientos elaborados para la consolidación de los terrenos, para la placa de base de los puentes y afines, y de los terraplenados. Por lo que respecta al medio ambiente del valle del Nied, en donde se extienden praderas naturales saladas, existen medios caracterizados por hábitats biológicos clasificados de interés comunitario, que figuran entre aquellos mencionados en la Directiva europea "Habitats". Este medio ambiente, muy escaso en Francia y en Europa, deberá integrarse dentro de breve plazo en la red Natura 2000.

RESUMEN ESPAÑOL

Lote 34B : conexión de la Línea de Alta Velocidad Este con la línea ferroviaria hacia Estrasburgo

J.-Cl. Mathieu, L. Hoffmann, L. Flouest y V. Poje

El lote 34B, ubicado en el departamento del Mosela, permitirá la conexión de la

De la gare de l'Est à Vaires-sur-Marne : adapter les installations terminales au TGV Est européen

C'est en Ile-de-France que la LGV Est européenne prend son origine, sur la commune de Vaires-sur-Marne située à 23 km de la gare de l'Est. Entre ces deux gares, le TGV Est européen circulera sur les lignes existantes, jusqu'à une vitesse de 220 km/h.

Sa coexistence future avec les trains Fret et Ile-de-France nécessite d'adapter les infrastructures existantes ou de créer de nouvelles installations. Réalisés en milieu urbanisé et à proximité de sites ferroviaires exploités, ces aménagements représentent pour RFF, la SNCF, et les entreprises attributaires, une opportunité de valoriser leurs compétences et leur savoir-faire, tant par la complexité de réalisation des travaux que par la prise en compte de l'insertion environnementale des nouveaux ouvrages.

La participation du Conseil régional d'Ile de France, à hauteur de 76,22 millions d'euros, révèle toute l'importance que revêt ce projet pour sa région : en effet, plus de 10 millions de voyageurs emprunteront les lignes du TGV Est européen, principalement au départ ou à destination de l'Ile de France (Paris, mais aussi les trois gares TGV de Massy, Marne-la-Vallée-Chessy et Roissy-Charles de Gaulle) et ce sont également plus de 500 millions d'euros qui sont investis entre la gare de l'Est (Paris X^e) et Vaires-sur-Marne (Seine-et-Marne) pour adapter ou créer les infrastructures ferroviaires et les installations fixes.

C'est aussi en Ile de France que la ligne nouvelle à grande vitesse prend son origine, sur la commune de Vaires-sur-Marne située à 23 km de la gare de l'Est. Entre ces deux gares, le TGV Est européen circulera sur les lignes existantes, jusqu'à une vitesse de 220 km/h. Sa coexistence future avec les trains Fret et Ile de France nécessite d'adapter les infrastructures existantes ou de créer de nouvelles installations.

Pour réaliser ces travaux, Réseau Ferré de France a confié un mandat de maîtrise d'ouvrage à la Région SNCF de Paris-Est. Dans ce contexte, la SNCF est responsable de l'organisation des opérations, de la préparation du choix des entreprises prestataires, de la gestion budgétaire, comptable et administrative, de la gestion des contrats passés avec les entreprises, et de la communication avec les tiers.

La Région SNCF de Paris-Est, qui exploite déjà ces lignes existantes entre la gare de l'Est et Vaires-sur-Marne, est également maître d'œuvre des aménagements réalisés.

■ DE PARIS À PANTIN, MODERNISER LES INFRASTRUCTURES EXISTANTES

Adapter les quais en gare de l'Est

Pour accueillir les rames TGV et adapter les quais de la gare de l'Est à ce nouveau matériel, huit quais grandes lignes sont aménagés et les marquises régénérées entre juin 2005 et juin 2006. Des prises d'eau sont également installées sur les quais : elles permettent de réapprovisionner directement les rames TGV en gare de l'Est et d'assurer ainsi une disponibilité maximale du matériel roulant, tout en diminuant le nombre de manœuvres et de circulations de trains dans l'avant-gare de Paris-Est.

Garantir la fluidité des circulations

Le futur volume des circulations ferroviaires en 2007 nécessite une utilisation optimale du plateau de voies à la sortie de la gare de l'Est. Ainsi, la capacité du souterrain ferroviaire de la Villette est doublée par la construction d'une seconde voie. Cet aménagement permet d'éviter aux rames TGV de cisailer le plateau de voies central de la gare de l'Est lorsqu'elles rejoignent les voies départ principales.

L'ouvrage initial date de 1893. Il se compose alors d'une partie en tunnel de 175 m encadrée par deux trémies de 188 et 240 m. Composé de deux voies à l'origine, il fut mis à voie unique au moment de son électrification pour éviter des travaux de mo-

Stéphanie Coic



CHARGÉE
DE COMMUNICATION
TGV EST EUROPÉEN
Région SNCF de Paris-Est

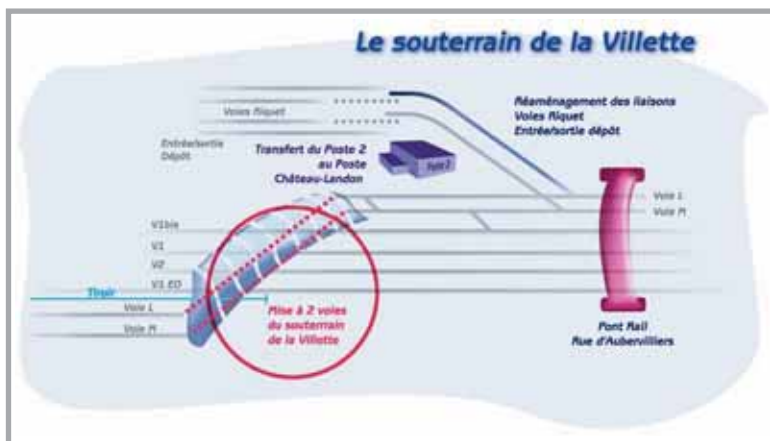


Figure 1
Modifications du plan de voies au souterrain de la Villette
Changes in the track layout at the La Villette tunnel

© SNCF Région de Paris-Est



Photo 1
La pose de butons permet la consolidation de l'ouvrage existant
Fitting stays to consolidate the existing structure

© SNCF Région de Paris-Est



Photo 2
Le 8 septembre 2003, le souterrain a été mis en service à deux voies
On 8 September 2003, the tunnel was put into operation on two tracks

© SNCF Région de Paris-Est

■ CHELLES, S'ADAPTER À LA COMPLEXITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

Figure 2
Futur plan de voies de la gare de Chelles et ouvrages d'art construits pour permettre l'élargissement de la plateforme ferroviaire
Future track layout in Chelles station and engineering structures built to allow enlargement of the railway subgrade



© SNCF Région de Paris-Est

La localisation des aménagements réalisés en plein centre-ville de Chelles, au cœur d'une gare qui accueille plus de 15 000 clients par jour, complexifie le déroulement des travaux et représente un enjeu majeur pour les entreprises. A cette problématique de l'exiguïté et de la densité des lieux, s'ajoute celle d'un site ferroviaire exploité où les travaux de voies planifiés plus de 6 mois à l'avance par la SNCF contraignent les entreprises à respecter scrupuleusement les délais qui leur sont impartis par le marché.

Élargir la plate-forme ferroviaire pour garantir la fluidité des différents trafics

Pour assurer l'offre des activités Ile-de-France, Fret et grandes lignes à Chelles (Seine-et-Marne), sans pénaliser la vitesse de circulation des TGV, deux voies supplémentaires sont construites au niveau de la gare, sur lesquelles les TGV circuleront à 180 km/h sur les voies centrales. Cette extension de la plate-forme ferroviaire, qui passe de quatre à six voies, nécessite la construction de plusieurs ouvrages d'art sur une longueur de 950 m, au nord de la plate-forme ferroviaire (figure 2).

Deux murs de soutènement encadrants

Le premier mur de soutènement qui permet d'élargir la plate-forme ferroviaire s'étend le long du remblai côté Paris, sur une longueur de 371 m ; il est constitué d'un voile en béton haut de 6,50 m, fondé sur des pieux forés à 8 m de profondeur. Ces derniers ont été réalisés à la tarière creuse de type 3. Afin d'éviter les mouvements de terrain lors de la construction des semelles du mur, le talus a été consolidé par une paroi clouée qui le recouvre sur une surface de 1 850 m² ; 900 clous de 16 m de long sont ancrés sous la plate-forme ferroviaire.

Cet ouvrage a été réalisé entre les mois de juillet 2002 et août 2003, en limite d'emprises ferroviaires, à 4 m des fonds de parcelles de particuliers. Ainsi, l'entreprise attributaire a dû adapter ses méthodes de construction à l'exiguïté des lieux, qui ne permettait qu'un seul point d'accès et empêchait le chassé-croisé d'engins de chantiers. Dans ce contexte, Maia Sonnier a utilisé deux outils coffrants et a mis en place une procédure de décoffrage par maturométrie qui lui a permis d'optimiser ses cycles de production et de réaliser les 53 plots en 3 mois. Alors que la solution initiale prévoyait la mise en place d'un rideau de palplanches, c'est également Maia Sonnier qui a proposé la variante des fondations sur pieux, qui a contribué à la diminution des nuisances sonores pour les riverains.

Selon la même technique, un autre mur de soutènement de 280 m a été construit côté province, de l'autre côté de la gare, d'avril à décembre 2003 (photo 3).

Un nouveau pont-rail

Dans le prolongement du mur de soutènement situé côté Paris, un nouveau pont-rail a été construit au second semestre 2003 au-dessus de l'artère principale de Chelles, l'avenue de la Résistance, au droit du pont-rail existant. Long de 40 m, large de 5,4 m, le nouvel ouvrage se compose de poutrelles enrobées et comporte quatre travées.

La nature de l'ouvrage a permis au groupement d'entreprises (Bouygues, GTM, Bec Frères) d'opti-



Photo 3
Outil coffrant créé par Maia Sonnier pour construire le mur de soutènement le long du talus

Sectional formwork set up by Maia Sonnier to construct the retaining wall along the slope



Photo 4
Chelles : le nouveau pont-rail construit dans le prolongement du mur de soutènement

Chelles : the new railway bridge constructed as an extension of the retaining wall

miser le phasage de réalisation des travaux et de ne pas perturber la circulation sur cet axe routier très fréquenté : les poutrelles et les rives préfabriquées ont été posées à la grue de nuit et ont servi de coffrage perdu. La circulation avenue de la Résistance a pu être conservée pendant la construction des appuis, au cours de l'été 2003. Pour privilégier une insertion urbaine harmonieuse, le nouvel ouvrage présente la même architecture et les mêmes coloris que le pont-rail existant, construit en 1932 : les piles sont revêtues d'un habillage en résine, à l'image des piles en fonte d'origine (photo 4).

Une nouvelle structure porteuse pour la gare

A la mise en service du TGV Est européen, la plate-forme ferroviaire de Chelles inclut une voie exploitée située au-dessus du bâtiment voyageurs. Inadapté à cette nouvelle configuration, ce dernier a été démoli et une nouvelle structure porteuse de la gare a été construite. Elle se compose successivement d'un pont-rail de 90 m, d'un mur de soutènement de 90 m et d'un pont-rail de 30 m, trois ouvrages dont la construction est terminée depuis mars 2004. La complexité de ce chantier réside là aussi dans les contraintes d'organisation dues à

Photo 5
Coffrage de la nouvelle structure porteuse du bâtiment voyageurs de Chelles

Formwork for the new load-bearing structure of the passenger building in Chelles



Figure 3
Le futur bâtiment voyageurs de la gare de Chelles
The future passenger building at Chelles station

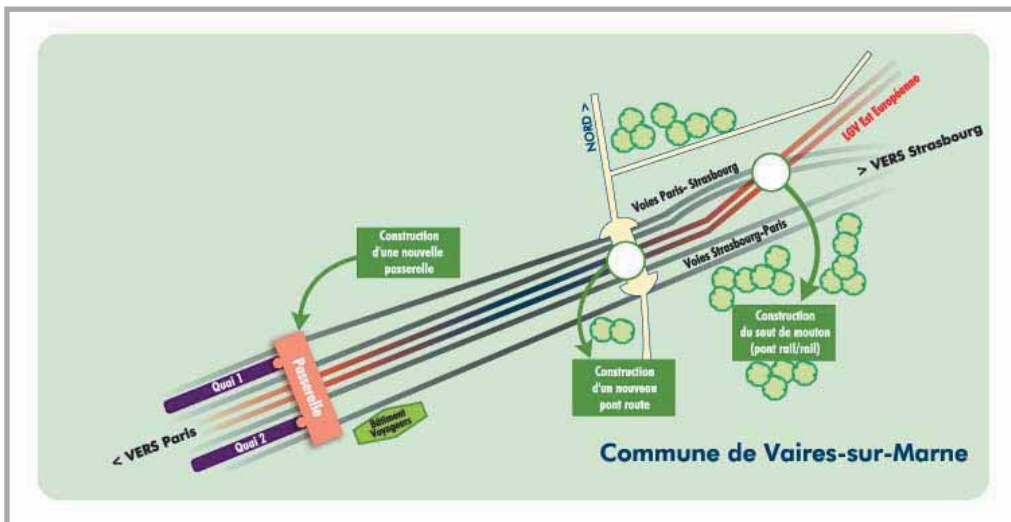


Figure 4
Aménagements réalisés à Vaires-sur-Marne pour permettre au TGV de rejoindre la LGV Est européenne

Development work performed at Vaires-sur-Marne to enable the high-speed train to join up with the East European High-Speed Train Line

une succession d'ouvrages réalisés dans des emprises exiguës offrant seulement de deux accès chantier (photo 5).

Un bâtiment voyageurs moderne et innovant

Le nouveau bâtiment voyageurs de Chelles sera construit sous la nouvelle structure porteuse, entre juin 2005 et décembre 2006, après le choix de l'entreprise attributaire en décembre 2004. RFF et la SNCF, en partenariat avec la commune de Chelles, ont voulu faire de la nouvelle gare un lieu de vie

moderne et agréable, entièrement accessible aux personnes à mobilité réduite, ainsi qu'une réussite sur le plan de l'insertion dans le tissu urbain et paysager. Dans cet objectif, des financements complémentaires ont été mis en place. Le nouvel ouvrage se compose de deux entités (un pôle principal situé place Gasnier Guy et un pôle secondaire situé près de la halte routière) et de quatre accès. Installée sur les fondations de l'ancienne gare et adossée au mur de soutènement existant, la nouvelle structure mixte (béton clair et métal) du pôle principal de la gare révèle, par ses proportions, le poids de la charge qu'elle supporte. Sa façade nord largement vitrée s'ouvre généreusement sur la ville et l'ensemble des services est regroupé au niveau rue. La liaison visuelle, entre le niveau rue et les quais, est améliorée par la création d'une trémie relativement importante qui représente une source de lumière naturelle dans le fond de gare. Le passage public est conservé tout en permettant une meilleure offre commerciale à la clientèle. Les deux quais sont accessibles depuis les souterrains pour les personnes à mobilité réduite. Situé sur l'emplacement du souterrain existant largement agrandi et réaménagé, le pôle secondaire ouvre plus généreusement sa façade vitrée sur l'extérieur et permet l'installation de billetteries et d'ascenseurs. Le lien visuel entre les deux accès principaux est maintenu au niveau rue par un traitement unitaire de l'ensemble de la façade (figure 3).

Lutter contre le bruit

Les études réalisées dans le cadre de la déclaration d'utilité publique du projet TGV Est européen ont montré que la construction de deux voies supplémentaires nécessite la réalisation d'un écran antibruit au nord de la plate-forme actuelle à Chelles sur une longueur de 640 m.

L'écran acoustique translucide posé de la place Gasnier Guy à la halte routière crée une continuité entre les deux côtés de la ville. Les écrans posés sur les murs de soutènement encadrants sont en bois et s'intègrent harmonieusement à l'environnement urbain.

Ces protections seront complétées, ainsi qu'à Vaires et Gagny, dans le cadre de la politique de résorption des points noirs bruit avec des financements spécifiques.

■ VAIRES-SUR-MARNE, TREMPLIN VERS LA LGV EST EUROPÉENNE

Des aménagements sont réalisés sur le site de Vaires pour permettre le débranchement de la ligne nouvelle et la montée en vitesse des TGV.

En gare de Vaires, la construction d'une sixième voie permet au TGV de traverser la gare à 210 km/h

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

RFF

Maîtrise d'ouvrage mandatée

SNCF Région de Paris-Est

Maîtrise d'œuvre

SNCF Région de Paris-Est - Centre Ingénierie
Nord Paris - Direction de l'Ingénierie

Souterrain de La Villette

- Entreprises attributaires : Spie Batignolles - Nouveta

- Coût : 3,062 M€

Quelques chiffres

- 2000 m de forage
- 80 m³ d'injection
- 1700 m d'ancrage autoforant
- 53 t d'autoforant mis en place
- 650 m de longrine
- 5000 m³ de déblais
- 60 t de profilés mis en place pour le butonnage
- 1300 m³ de sous-couche

Murs de soutènement encadrants

- Entreprise attributaire : Maia Sonnier
- Sous-traitants : Guintoli, Prigent, Spie
- Coût mur côté Paris : 5,156 M€ (CE décembre 2001)
- Coût mur côté province : 4,77 M€ (CE juillet 2002)

Pont-rail

- Entreprises attributaires : Bouygues, GTM, Bec Frères
- Sous-traitants : Intrafor, Séfi, Prigent, Otis
- Coût : 1,5 M€ (CE 2002)

Structure porteuse

- Entreprises attributaires : Bouygues, GTM, Bec Frères
- Sous-traitants : Intrafor, Séfi, Prigent, Otis
- Coût : 12,37 M€

Passerelle

- Entreprises attributaires : Mathis (charpente), Colas (génie civil), Otis (escaliers mécaniques) et CNIM (ascenseur)
- Coût : 4 millions d'euros

Pont-route

- Entreprises attributaires : Demathieu et Bard, Guintoli, Nobel Explosif
- Coût : 3,5 millions d'euros

© SNCF Région de Paris-Est



Photo 6
29 novembre
2003 : pose
de la nouvelle
passerelle en gare
de Vaires-sur-Marne
*29 November
2003 : installation
of the new foot
bridge
in Vaires-sur-Marne
station*

© SNCF Région de Paris-Est



Photo 7
Vue intérieure
Interior view

sur deux voies centrales, sans présenter de risque pour la clientèle Ile-de-France en attente d'un train. Suite à cette extension du plan de voies, l'emplacement des quais est modifié. Cette nouvelle configuration implique également la reconstruction de la passerelle de la gare et du pont-route du Gué de l'Aulnay (figure 4).

Une nouvelle passerelle entre en gare (photos 6 et 7)

La nouvelle passerelle couverte de Vaires-sur-Marne est un ouvrage en bois lamellé collé qui participe pleinement au renouveau du quartier de la gare. Long de 75 m, l'ouvrage surplombe les voies à 6 m de hauteur et ses arcs supportent un double passage large de 6 m, entièrement accessible aux personnes à mobilité réduite. Le premier passa-

Photo 8
Construction des appuis
du nouveau pont-route
devant l'ancien ouvrage

*Construction
of the supports for the new
road bridge in front of
the old structure*

© SNCF Région de Paris-Est



► ge correspond à un cheminement public, tandis que le deuxième permet aux voyageurs d'accéder aux quais par l'intermédiaire de deux trémies d'escalier et d'ascenseur. Deux parvis accompagnent l'ouvrage vers la ville, à chacune de ses extrémités. Trois essences de bois ont été mises en œuvre (la totalité des arbres utilisés proviennent de forêts cultivées) :

- ◆ le douglas (résineux) venant du Limousin : 1 000 m³ brut soit 370 m³ de bois fini, utilisé en structure pour sa durabilité ;

- ◆ le chêne, en provenance du Jura : 180 m³, soit 50 m³ de bois fini, formant les platelages et les marches pour ses qualités de dureté ;

- ◆ l'épicéa (résineux) originaire de Suède : 170 m³ brut soit 50 m³ de bois fini, employé en plafond pour sa couleur et son veinage.

Trente tonnes d'acier, 6 700 boulons ont été nécessaires au contreventement et à l'assemblage, tandis que la couverture représente 1 100 m² de zinc.

Dimensions :

- longueur : 75 m,
- portée entre appuis : 49 m,
- largeur (au niveau de la toiture) : 9,40 m,
- hauteur au-dessus du tablier : 6,50 m,
- poids : 130 t.

Pour ne pas gêner les flux piétons et routiers, l'entreprise Mathis a assemblé l'ouvrage à l'écart de la gare de Vaires-sur-Marne, au-dessus du cimetière, aux mois d'octobre et novembre 2003. Le jour de sa pose – le 29 novembre 2003 – la passerelle a été déposée sur des kamagras par deux

grues, puis transportée sur le pont-route situé au-dessus de la plate-forme ferroviaire de la gare.

Les deux grues de 750 t l'ont soulevée et déposée sur ses appuis, en quelques heures seulement. Cette opération de pose a nécessité une interruption totale des circulations ferroviaires. Cette dernière, fixée plus de 6 mois à l'avance, n'autorisait aucune marge de dépassement du délai aux entreprises attributaires. Ainsi, la coordination a dû être particulièrement fine entre Colas, responsable des travaux de génie civil, Genier Desforges en charge de la démolition de l'ancienne passerelle et enfin Mathis, responsable de la construction de la passerelle.

Un pont-route adapté au TGV Est européen

Le pont-route du Gué de l'Aulnay construit en 1934 ne présente pas un gabarit suffisant pour permettre au TGV de rejoindre la ligne nouvelle à grande vitesse. Le nouvel ouvrage, long de 60 m et large de 9,8 m, fondé sur quatre appuis, a été construit entre les mois de mai et novembre 2003. RFF et la SNCF ont intégré une piste cyclable au nouveau pont, situé à proximité du bois de Vaires propice aux loisirs de promenade.

Une fois le nouveau pont-route mis en service, c'est dans la nuit du 6 au 7 décembre que le groupement d'entreprises Demathieu et Bard, Guintoli et Nobel Explosifs a procédé à la démolition de l'ancien ouvrage par tirs à explosif. L'enjeu de cette opération, qui a nécessité une interception totale

des voies ferrées, était de rendre à la circulation la moitié des infrastructures déblayées et en bon état de fonctionnement dès le dimanche matin à 7h55. L'opération fut un succès puisque la totalité des voies pouvait être circulée dès 7h20 (photos 8 et 9).



© SNCF Région de Paris-Est

Photo 9
Le nouveau pont-route du Gué de l'Aulnay
The new road bridge at Gué de L'Aulnay

ABSTRACT

From "Gare de l'Est" station in Paris to Vaires-sur-Marne : adapting terminal facilities for the East European High-Speed Train

St. Coic

It is in the Ile-de-France region that the East European High-Speed Train Line takes its source, in the Vaires-sur-Marne area located 23 km from "Gare de l'Est" station in Paris. Between these two stations, the East European High-Speed Train will travel over the existing lines, at speeds of up to 220 km/h.

Since in the future it will coexist with the "Fret" (freight) and "Ile-de-France" trains, the existing infrastructure must be adapted or new facilities created. Carried out in an urban environment close to operational railway facilities, these developments represent for RFF, SNCF and the firms awarded the contract an opportunity to highlight their competencies and expertise, both through the complexity of the work to be performed and by allowance for environmental integration of the new structures.

RESUMEN ESPAÑOL

Desde la estación del Este hasta Vaires-sur-Marne : adaptar las instalaciones terminales del tren de alta velocidad TGV Este europeo

St. Coic

En la región Ile-de-France tiene su origen la Línea de Alta Velocidad LAV Este europea, y precisamente en el municipio de Vaires-sur-Marne, o sea a 23 km de la estación del Este de París. Entre ambas estaciones, el TGV Este europeo habrá de circular por las líneas existentes, hasta una velocidad de 220 km/hora.

Su coexistencia futura con los trenes de Cargas y de Ile-de-France, precisa una adaptación de las infraestructuras existentes o bien, la creación de nuevas instalaciones. Estos acondicionamientos, ejecutados en medio urbanizado y en las cercanías de emplazamientos ferroviarios en funcionamiento, representan para RFF, la SNCF y las empresas encargadas de su construcción, una oportunidad de valo-

rizar sus competencias y su experiencia y práctica profesionales, tanto debido a la complejidad de la ejecución de las obras como por la necesidad de tener en cuenta la inserción medioambiental de las nuevas estructuras.

Focus sur le lot 10 à dans le triangle des

Le lot 10, situé sur les communes de Vaires-sur-Marne et Pomponne (Seine-et-Marne), marque l'origine de la LGV Est européenne côté Paris. Les voies à grande vitesse se raccordent aux voies existantes Paris - Strasbourg grâce à un saut-de-mouton long de 300 m. Cet ouvrage, fondé sur 237 pieux de 1 100 mm de diamètre, profonds de 13 à 20 m, permet le franchissement par la LGV, de deux voies existantes déviées.

Ce lot est localisé en limite du bois de Vaires et des marais, site répertorié Natura 2000 en raison de sa richesse écologique (zone humide d'intérêt communautaire et habitats favorables au triton crêté et au grand capricorne). La réalisation de 90 % de l'ensemble des travaux a nécessité pendant 600 jours calendaires, en plus des dispositions techniques particulières, la mise en œuvre de mesures préventives et d'accompagnement rigoureuses pour une protection efficace de l'environnement.

Le lot 10, réalisé avec deux délais partiels de 600 jours calendaires, a été attribué en août 2002 au groupement d'entreprises Razel (mandataire) - Urbaine de Travaux - Demathieu et Bard - Muller TP.

■ LE LOT 10 S'IMPLANTE PRÈS D'UNE ZONE NATURA 2000 : LE BOIS DE VAIRES

Le bois de Vaires-sur-Marne, doté d'une grande richesse floristique et faunistique est répertorié dans le réseau Natura 2000, qui a pour objectif de contribuer à préserver la diversité biologique sur le territoire de l'Union européenne et de maintenir ou de rétablir en permanence un état de conservation favorable des milieux naturels d'intérêt communautaire.

Ce bois, traversé par un petit ruisseau, nommé ru du Gué de l'Aulnay (affluent de la Marne), comporte une zone humide et abrite parmi les grenouilles rousses, vertes ou agiles, la couleuvre à collier et les salamandres tachetées, deux espèces protégées: le triton crêté (batracien) et le grand capricorne (coléoptère).

Les espèces végétales qui constituent ensemble une zone humide appelée mégaphorbiaie eutrophe (habitat d'intérêt communautaire), sont baignées annuellement par l'expansion des crues de la Marne.

Le ru abrite dans sa végétation aquatique une diversité piscicole particulièrement protégée par les pêcheurs.

Grâce à ce joli bois de Vaires, très défendu par l'Association de gestion et de valorisation de la réserve naturelle de Vaires (AGVRN) et la SNCF, (représentée par Thérèse Meysembourg, responsable environnement SNCF-Paris Est, maître d'ouvrage délégué de RFF) une réflexion environnementale a accompagné chaque phase de construction; loin d'être perçue comme une contrainte, elle est devenue un acte écologique élémentaire et spontané.

■ LE PREMIER SAUT-DE-MOUTON AU PK 0.800

Le premier saut-de-mouton 10.120 de la ligne nouvelle constitue le cœur du lot 10. Il est situé immédiatement après le nouveau pont-route du chemin de l'Aulnay. Cet ouvrage, avec un biais de 10 grades

qui lui donne une allure de tunnel sur une longueur de 300 m, permet aux voies de la LGV de franchir les voies classiques Paris - Strasbourg déviées sous le saut-de-mouton.

Sa structure en portique sur semelles, avec une section d'air de 73 m², pour un volume de béton armé de 6 800 m³, a nécessité la réalisation de 237 pieux de diamètre 1 100 mm sur une profondeur comprise entre 13 m et 20 m, prévus initialement avec un forage à la bentonite.

Avant le démarrage des pieux et des travaux de génie civil du saut-de-mouton, les matériaux tourbeux présents sur une épaisseur de 3 à 6 m, ont été extraits et remplacés par des remblais de bonne qualité géotechnique et drainante. Après cette opération, le substratum argilo-marneux a été préconsolidé avec des remblais de préchargement de différentes hauteurs.

Tous les volumes de matériaux, constitués avec un sable ayant les propriétés d'un matériau de zone inondable (ZI) ont été déplacés en fonction des phasages de construction et des durées prescrites d'immobilisation sur les diverses plates-formes équipées de drains verticaux préfabriqués plats.

Les montages et les démontages de ces remblais au cours de l'hiver 2002-2003 ont surpris les riverains très curieux de l'avancement des travaux.

■ ZONE ENVIRONNEMENTALE TRÈS SENSIBLE

La B.A. environnementale quotidienne

Le ru du Gué de l'Aulnay et toute la végétation à sauvegarder en dehors des futurs travaux ne devaient en aucun cas être pollués et dégradés. Le cahier des charges de réalisation des travaux de génie civil était très rigoureux.

Au-delà du plan assurance environnement (PAE) et des procédures spécifiques, qui sont des documents d'exécution connus par les dirigeants du chantier, la démarche environnementale ne pouvait pas être efficace sur le terrain sans une ferme sensibilisation de l'ensemble du personnel. En dehors des développements oraux des méthodes d'exécution et des mesures environnementales appropriées, tout intervenant devait avoir un réflexe "environnement" personnel aussi automatique qu'est celui de la sécurité. Pour obtenir ce comportement, une charte a été rédigée et expliquée avec des principes simples à respecter pendant

L'origine de la LGV, batraciens

Thérèse Meysembourg



RESPONSABLE
ENVIRONNEMENT
Région SNCF de Paris-Est

Jean-Louis Del Tin



RESPONSABLE TRAVAUX
DU LOT 10
Razel

toute la durée des travaux. Cette charte était rappelée quotidiennement par deux panneaux placés, l'un à l'entrée du chantier et l'autre sur la piste principale, portant l'inscription "zone environnementale très sensible".

Par ailleurs, des conteneurs de tri sélectif et des poubelles étaient constamment présents à proximité des cantonnements pour garantir une bonne gestion des déchets. La limpidité des eaux du ru était surveillée fréquemment visuellement et contrôlée tous les quinze jours par des analyses de la teneur en matières en suspension (M.E.S) et la vérification d'absence d'hydrocarbures. Pendant l'extraction des tourbes où la réalisation des fouilles a nécessité des pompages, le personnel a utilisé spontanément la centaine de bottes de paille et le géotextile disponibles en permanence sur le chantier pour confectionner des barrages de filtration des eaux avant leur rejet dans le ru.

L'expression-clé "travaillons proprement" de la charte qui voulait garantir une B.A. environnementale quotidienne pour la préservation de la réserve a été appliquée constamment par chaque intervenant sur le chantier. L'assimilation d'une démarche environnementale individuelle durable, difficile à enseigner au début des travaux, fut la première action essentielle (photo 1).

Prudence : batraciens

Dès l'ouverture du chantier, la maîtrise d'œuvre travaux, représentée par Jean-Marc Hervy, a donné le ton "environnemental" sur le site.

Le premier coup de pioche ne pouvait pas être engagé sans procéder à un état des lieux exhaustif en collaboration avec l'AGVRN. Cet état des lieux a permis de délimiter les formations végétales et marquer les arbres à protéger et surtout commencer une sensibilisation sur les mœurs des amphibiens.

La première intervention importante sur le chantier avant les travaux, fut la pose d'un filet de retenue des batraciens, sur une longueur d'environ un kilomètre pour éviter aux nombreuses espèces de pénétrer sur les lieux des travaux lors des migrations liées à la reproduction.

L'extraction des matériaux tourbeux, rendue difficile à cause d'une mise en plate-forme de ressuage et d'un rechargement sur des camions routiers pour une évacuation par voie publique, a été organisée, en plus des impératifs de construction, en programmant très précisément tous les basculements des pistes et des diverses dérivations pro-



© Région SNCF de Paris-Est

Photo 1
Panneau à l'entrée du chantier rappelant les principes simples environnementaux de la charte pour la sensibilisation du personnel

Notice board at the entrance to the site giving a reminder of the simple environmental principles of the charter to raise awareness among the personnel



© Région SNCF de Paris-Est

Photo 2
Le ru du Gué de l'Aulnay à l'état "naturel" entre le saut-de-mouton 10.120 du PK 0.800, et le filet de retenue des batraciens qui longe la réserve

Gué de l'Aulnay brook in its "natural" condition between flyover 10.120 of PK 0.800, and the batrachian restraint net running along the reserve

visoires à exécuter. Il fallait conserver au mieux la continuité de l'écoulement du ru sans trop bouleverser son milieu biologique.

Le chantier avait pour obligation de garantir une situation quasi définitive de l'écoulement, sans heurts, avant la fin de l'hiver 2002-2003 pour ne pas perturber le début de la reproduction des batraciens, puis celle des poissons. Cet enjeu était un défi car le site n'était pas à l'abri d'une crue de la Marne. "Attention aux batraciens et à la crue", cette recommandation de la maîtrise d'œuvre et de l'AGVRN, a été écoutée scrupuleusement : tous les terrassements réalisés dans les formations marécageuses à partir de décembre 2002 ont été menés sans interruption jusqu'en mars 2003, en défiant la crue et sans susciter de perturbations pour les amphibiens (photo 2).

La minipelle au service du triton crêté

Chaque ligne nouvelle a eu sa particularité : l'Atlantique avec les caves du Vouvray, le Nord avec

Photo 3
La récupération de la laïche ou cariçaie présente en touffes avant sa transplantation avec une pelle hydraulique

Recovery of the sedge and "cariçaie" plants present in tufts before being transplanted by hydraulic shovel



© Région SNCF de Paris-Est

intervenants lorsqu'ils ont constaté que de telles précautions pouvaient favoriser le développement d'une espèce protégée. En outre, le chantier a été fleuri tout l'été avec l'épanouissement de la cariçaie qui a affiché ses couleurs éclatantes roses, mauves et violettes. Une troisième action environnementale primordiale était accomplie (photos 3 et 4).

■ LE "GRAND" RU DU GUÉ DE L'AULNAY

Trois ouvrages hydrauliques pour franchir les nouvelles plates-formes

Ce ruisseau, assujéti aux fluctuations de la Marne, a été rétabli sous la LGV et les voies déviées par l'intermédiaire de trois ouvrages hydrauliques et d'une dérivation définitive longue de 160 m.

Le premier ouvrage, constitué par deux dalots contigus avec une section respective de 2 m², permet le franchissement du chemin forestier rétabli avec l'aménagement final pour la surveillance et l'entretien de la réserve.

Le deuxième ouvrage voisin, nommé OH 10.200, permet au ru de passer sous la ligne nouvelle perchée sur un remblai de 10 m de hauteur. Cet ouvrage en béton armé, long de 47 m, est un pont-rail de type cadre enterré avec une hauteur libre de 2 m et une ouverture utile de 5 m. La construction de cet ouvrage a débuté en mars 2003 pour une durée de trois mois. La réalisation du radier implanté 1 m sous le niveau de la nappe phréatique a nécessité la mise en place de deux pompes pour assurer un débit d'exhaure de 250 à 300 m³ par heure. Dans l'unique surface disponible enclavée entre le ru dévié provisoirement et la fouille à excaver, deux bassins de décantation totalisant une capacité de l'ordre de 500 m³ ont permis de traiter les eaux très chargées en fines sablo-argileuses. A titre anecdotique, les eaux de ces bassins, transparentes comme celles d'un lagon après les travaux de l'ouvrage, ont été une réserve précieuse pour les alevins divers et variés. En effet, le rejet des eaux du bassin (issues des pompages de fouille) dans la longue dérivation provisoire du ru a rendu le milieu très accueillant pour le développement des alevins pendant les périodes de fortes chaleurs.

Enfin, le ru poursuit son écoulement dans un troisième ouvrage avant de rejoindre son exutoire. Cet ultime franchissement, situé sous la plate-forme édifiée pour voies déviées Paris-Strasbourg (et pour une voie de desserte de la centrale thermique EDF de Vaires-sur-Marne), est un ouvrage hydraulique de 35 m de longueur, constitué par cinq buses de diamètre nominal de 1 400 mm mises en batterie et enrobées de béton.

Photo 4
Eté 2003 : la floraison de la cariçaie transplantée

Summer of 2003 : flowering of transplanted "cariçaie"



© Région SNCF de Paris-Est

► l'archéologie, la Méditerranée avec l'aigle de Bonelli et maintenant l'Est avec notamment sa "cariçaie" à la sortie de Paris.

Sur le lot 10, l'extraction de la tourbe impliquait la sauvegarde de la "cariçaie" présente en nombreuses touffes en bordure de la mégaphorbiaie.

A la grande stupeur du personnel accoutumé aux opérations courantes de terrassement, une pelle hydraulique a scalpé le terrain avec précaution pour récupérer sans trop de dommages ce groupement végétal si bien protégé par l'AGVRN.

Pour permettre sa reprise et une nouvelle floraison au printemps suivant, la cariçaie fut pour partie transplantée en massif dans le futur bassin de 30 000 m³ prévu pour l'épandage des crues de la Marne. Ensuite, une autre récolte fut transportée avec une minipelle dans la mégaphorbiaie (zone humide) pour conforter des "mares" existantes. Ces points d'eau ont été un refuge précieux pour la faune aquatique pendant la canicule de l'été 2003. La reproduction et le développement du triton crêté y ont été constatés par l'AGVRN.

Ce décapage particulier, considéré comme une excentricité au début des travaux, a eu comme aboutissement la grande satisfaction de tous les

Le ru fait peau neuve

Les berges taillées avec une pente de 3 pour 2 (2 de hauteur pour 3 de base) ont été revêtues comme tout nouvel aménagement hydraulique avec des enrochements de 10 à 100 kg ainsi que le fond sur une épaisseur de 70 cm. Cette carapace peu fertile a été recouverte selon les prescriptions du marché avec un mélange sablo-limono-terreux pour combler les vides entre les enrochements et créer ensuite un tapis végétal épais de 10 cm. Ce tapis a pour but d'activer l'implantation de la flore et d'assurer la continuité piscicole. Tous ces aménagements, avec en particulier des enrochements bloqués avec un béton percolé aux abords des trois ouvrages hydrauliques, ont été réalisés dans les conditions météorologiques très favorables de l'année 2003.

Pour le confort des amphibiens, un aménagement spécifique a été réalisé sur l'une des berges. La petite calanque créée avec des pentes adoucies a été nommée "crapaud plage" par le chantier à l'instar des crapauds. Cet aménagement permet de favoriser la continuité écologique entre le ru et le bassin d'expansion des crues.

Enfin, avant de rétablir dans son tracé définitif le ru du Gué de l'Aulnay, quelques ouvriers munis d'une épuisette et de bassines, avec le concours de la maîtrise d'œuvre et du Conseil supérieur de la Pêche, ont procédé une ultime fois à une pêche de sauvegarde (non électrisante), pour récupérer des centaines d'alevins de tanche, épinochette, vairon, gardon et perche qui font le bonheur des pêcheurs des bords de Marne.

A côté de l'ouvrage hydraulique supportant la ligne à grande vitesse, un passage supplémentaire de 55 m de longueur, constitué par des buses en béton à âmes métalliques, avec un diamètre de 2 m, a été posé pour permettre la migration de la petite faune du bois des Marais vers le bassin d'épannage des crues.

Tous ces aménagements représentent un montant égal à 4,5 % du montant global des travaux du lot 10 (photos 5, 6 et 7).

■ UNE AUTRE ACTION ENVIRONNEMENTALE : LE TUBAGE PROVISOIRE DES PIEUX

Le dossier de consultation des entreprises prévoyait la réalisation des 237 pieux du saut-de-mouton avec un forage à la boue bentonitique. Lors de la consultation auprès des entreprises spécialisées en fondations profondes, le groupement du lot 10 a exprimé son inquiétude quant à l'utilisation de la boue bentonitique qui nécessite des quantités d'eau importantes, l'installation de centrales de traitement des boues et une évacuation obli-



Photo 5
Le revêtement de la dérivation définitive du nouveau ru du Gué de l'Aulnay (enrochement de 10 à 100 kg), avec une section hydraulique

Lining the final diversion of the new Gué de l'Aulnay brook (rockfill with rocks of 10 to 100 kg), with hydraulic cross section



Photo 6
Le nouveau ru du Gué de l'Aulnay : un revêtement sablo-limono-terreux recouvre les enrochements. En arrière plan, l'ouvrage hydraulique OH 10.200 et le passage petite faune

The new Gué de l'Aulnay brook : sandy-loam-earth surfacing covers the rockfill. In the background, hydraulic structure OH 10.200 and the underpass for small animals



Photo 7
Dernière pêche de sauvegarde des alevins dans la dérivation provisoire du ru avant son rétablissement sous la LGV

Final fishing for the safeguard of fry in the temporary diversion of the brook prior to its restoration under the High-Speed Train Line

Photo 8
 Vue des ateliers de forage mobilisés sur l'emprise du saut-de-mouton 10.120 avec les tubages provisoires pour la réalisation des 237 pieux sans utilisation de la boue bentonique

View of the boring equipment deployed on the area of flyover 10.120 with the temporary casings for construction of the 237 piles without using bentonite drilling mud



© Région SNCF de Paris-Est

▶ gatoire des matériaux extraits. En tenant compte de ce souci, le groupement constitué par les entreprises Razel - Bilfinger-Berger et Franki Fondations, a proposé d'utiliser des tubes métalliques provisoires de 1 100 mm de diamètre empilés par tronçons de 2,5 m sur toute la hauteur du forage et une excavation des terrains avec une tarière montée sur un mât Kelly. Cette technique retenue pour traverser le calcaire de Saint-Ouen plus ou moins altéré jusqu'au sable de Beauchamp a été mise en œuvre pendant quatre mois avec deux machines très puissantes mobilisées par chacune des deux entreprises.

En fonction des difficultés liées aux couches géologiques extraites, le rythme de réalisation des pieux a été de deux à quatre unités par jour pour les fondations de 20 m de profondeur. Cette exécution basée, d'une part, sur un forage à la tarière et un maintien des terrains par un tubage provisoire, d'autre part, sur une récupération des tubes au fur et à mesure du bétonnage du pieu, a été une solution idéale dans le cadre de cet environnement très délicat. En effet, le chantier manipulait sans inquiétude des matériaux extraits humides ou détrempés, certes, mais exempts de bentonite. De plus, l'eau de la nappe des alluvions anciennes surmontant le calcaire était facilement traitable par son passage dans une succession de petits bassins de décantation réalisés pour retenir les matières en suspension lorsque cette eau était pompée en phase de bétonnage. Les plates-formes de travail confectionnées en béton concassé restaient intactes, toujours circulables et propres. Propreté et sécurité du lieu de travail allaient ainsi de pair.

Ce procédé, mis en œuvre pour l'exécution du saut-de-mouton dans la période de mai à septembre 2003, représente une autre action environnementale importante (photo 8).

■ LE PROJET D'AMÉNAGEMENT PAYSAGER DU BASSIN D'ÉPANDAGE DES CRUES

Les aménagements particuliers du bassin d'épandage (nécessaire pour compenser le volume des crues de la Marne soustrait par le remblai LGV), permettent de favoriser l'apparition d'une zone humide favorable à la flore et à la faune sur sa superficie de 1,5 ha. Toutes les adaptations écologiques qui seront réalisées avec des modelés, des approfondissements et des pentes de talus variables en fonction des végétaux à planter, doivent permettre le développement d'un milieu diversifié dans le bassin.

Les 600 premiers jours calendaires ont vu toute une équipe, de la direction à l'ouvrier, évoluer dans un site naturel protégé, soucieuse d'un environnement si fragile et si rare dans le contexte urbain très dense de la région parisienne.

La suite des travaux, pendant la deuxième période des 600 jours calendaires qui suivra la mise en service des voies impaires déviées, permettra de constater l'évolution des aménagements réalisés et le résultat des efforts consacrés à la prise en compte de l'environnement.

En s'entourant de précautions et de moyens appropriés pour contrôler et minimiser les nuisances

Focus on work section 10 at the source of the High-Speed Train Line, in the batrachian triangle

Th. Meysembourg, J.-L. Del Tin

Work section 10, located in the districts of Vaires-sur-Marne and Pomponne (Seine-et-Marne), marks the start of the East European High-Speed Train Line at the Paris end. The high-speed tracks are connected to the existing Paris-Strasbourg tracks by means of a flyover 300 metres long. This structure, with a foundation of 237 piles 1,100 mm in diameter and 13 to 20 metres deep, allows the High-Speed Train Line to cross over the two existing diverted tracks.

This work section is located on the edge of Vaires wood and the marshes, an area classified under Natura 2000 due to its ecological richness (humid area of Community interest and habitats favourable to the crested salamander and the sawyer). To carry out 90 % of all the work, over 600 calendar days, in addition to special technical measures, stringent prevention and support measures had to be taken for effective protection of the environment.

Focus hacia el lote 10, en el punto de origen de la Línea de Alta Velocidad LAV, en el triángulo de los batracios

Th. Meysembourg y J.-L. Del Tin

El lote 10, ubicado en los municipios de Vaires-sur-Marne y de Pomponne (Seine-et-Marne), señala el punto de origen de la Línea de Alta Velocidad LAV Este europea, lado París. Las vías de alta velocidad se conectan con vías existentes por el lado París-Estrasburgo por medio de un salto de carnero de una longitud de 300 m. Esta estructura, que toma apoyo sobre 237 pilotes de uno a 100 mm de diámetro, a una profundidad de 13 a 20 m, permite salvar, por la LGV, dos vías existentes desviadas. Este lote de obras está localizado en el límite del bosque de Vaires y de los pantanos, emplazamiento repertoriado Natura 2000 debido a su riqueza ecológica (zona húmeda de interés comunitario y hábitats favorables para el tritón crestado y el gran capricornio). La ejecución del 90 % de las obras ha precisado, durante 600 días de calendario, además de las rigurosas medidas preventivas y de acompañamiento para conseguir una protección eficaz del medio ambiente.

sur les richesses de cette zone humide, le lot 10 aura contribué à la préservation des batraciens qui, rappelons-le, sont apparus à l'ère primaire et ont été les premiers vertébrés adaptés à la vie terrestre lors de la fameuse "sortie des eaux".

Lexique

Mégaphorbiaie : prairie de hautes herbes (1,5 à 2 m) sur sol frais, humide et riche.

Eutrophe : riche en éléments nutritifs, généralement non ou faiblement acide et permettant une forte activité biologique.

Cariçaie : groupement végétal de milieux humides, à physionomie de haute prairie, dominé par des espèces de genre carex ou laïches.