

**Dossier spécial**  
**Liaison Seine-Escaut**  
**Canal Seine-Nord Europe**

## TRANSPORTS ET MOBILITÉ

- **Seine-Nord** : un grand canal pour l'Europe
- **Seine-Scheldt link** : a major European priority project
- **Canal Seine-Nord Europe** : maillon central de la liaison Seine-Escaut
- **60 infrastructures pour accompagner la croissance durable des territoires**
- **Mise en site propre du tramway de Saint-Étienne**
- **Modernisation de la ligne des Carpates**
- **Un écrin de verre pour la gare de Strasbourg**
- **Prolongement de la ligne 1 du métro à Marseille**
- **Castor 2007** : un chantier au cœur de Paris
- **La réparation du viaduc de Woippy (57) sur l'A4**
- **Autoripage<sup>®</sup>, Autofonçage<sup>®</sup>** : nouveau record pour Freyssinet
- **Élargissement de la RN 80 en Saône-et-Loire**

# Transports et mobilité

# éditorial

## Infrastructures de transport : un Pacte pour la France de demain

**L**es infrastructures de transport sont l'une des composantes essentielles permettant de renforcer l'attractivité et la compétitivité de nos territoires. L'industrie française des Travaux Publics a présenté dans son Livre blanc, publié en mai 2007, ses propositions pour un Pacte national des infrastructures de transport : propositions reprises et complétées lors de l'Atelier « Transports et déplacements » du Grenelle de l'Environnement.

La FNTP prolonge aujourd'hui cette réflexion en proposant une méthode et en suggérant des moyens pour passer à l'acte.

**Trois impératifs** prévalent pour la réussite de ce Pacte.



Patrick Bernasconi  
Président de la FNTP

Tout d'abord, **établir une priorité de construction**. Il est nécessaire d'engager la représentation nationale, comme en Allemagne ou en Grande-Bretagne, sur les priorités de l'investissement public. Sur des projets stratégiques, qui impactent durablement l'investissement public, il est légitime de faire valider par le Parlement un programme, pluriannuel, évalué annuellement et révisable tous les cinq ans. Un engagement d'autant plus nécessaire qu'il y a débat et nécessité d'arbitrer au grand jour entre les différentes composantes du développement durable.

Autre impératif, celui de **réduire les délais de réalisation des projets prioritaires**. L'exemple allemand d'accélération des procédures pourrait être transposé en France pour la réalisation des infrastructures prioritaires.

Dernier impératif, il faut **assurer un financement pérenne de ces opérations**. Différents types de financements peuvent être affectés aux infrastructures, tels des financements budgétaires liés à des ressources affectées ; des financements via des partenariats public-privé ; des financements drainant de l'épargne longue ou encore des fonds mutualisés. Des pistes nouvelles peuvent être creusées en repartant de ces types de financement.

Ce Pacte plaide donc pour une approche intégrée des politiques publiques de transport, dans une logique de croissance durable et sous condition de volonté politique.

A handwritten signature in black ink, which appears to be the signature of Patrick Bernasconi. The signature is stylized and cursive, written on a white background.

# Vers un système de transport durable du territoire



**Daniel BOURSAUX**, Directeur Général des Transports et de la Mer au Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire

**L**a demande de transport n'a cessé de croître tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, avec des besoins de mobilité de plus en plus nombreux et variés pour les voyageurs comme pour les marchandises. Pour répondre à cette attente, la collectivité, dans son ensemble, doit offrir un système de transport performant et durable.

La France a ainsi construit de nombreuses infrastructures de transport, avec notamment un investissement fort dans le réseau autoroutier, dans les lignes à grande vitesse et dans les transports collectifs urbains.

Mais ce réseau s'avère parfois insuffisant et les situations de congestion qui s'y développent posent la question de nouvelles infrastructures, de leur financement et de leurs impacts environnementaux.

Les transports représentent 26 % des émissions de gaz à effet de serre tous secteurs confondus. Compte

tenu de la prédominance du mode routier, ils restent aujourd'hui très dépendants des énergies fossiles et notamment du pétrole. L'enjeu est donc aujourd'hui de rendre compatibles les besoins de transport avec les contraintes environnementales et sociétales croissantes.

Nous disposons de divers moyens pour y parvenir, sans pour autant contraindre la demande de transport : d'abord la réduction des nuisances propres à chaque mode et, notamment, le mode routier, ensuite la diversification de l'offre de transport.

Le « Grenelle de l'Environnement », sous l'impulsion de Jean-Louis Borloo, ministre d'État, ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable

et de l'Aménagement du Territoire, préconise une série de mesures pour les transports, comme la réalisation de nouvelles infrastructures pour les modes alternatifs à la route - avec 2 000 km de lignes à grande vitesse et 1 500 km de tramways et bus en site propre -, la mise en place d'une redevance d'usage pour les poids lourds et la création d'un bonus-malus sur les véhicules neufs.

Le report modal et l'évolution des comportements de mobilité peuvent également réduire l'impact environnemental du transport, grâce au développement de nouveaux services de transport.

Pour les voyageurs, l'autopartage ou le covoiturage modifient l'usage individuel de la voiture, tandis que les vélos en libre service ou les bus à haut niveau de service favorisent le report modal en même temps qu'un aménagement urbain durable.

Pour les marchandises, les autoroutes ferroviaires et les autoroutes de la mer visent à remplacer les trajets routiers par des trajets ferroviaires, maritimes ou fluviaux, tout en conservant la souplesse du mode routier par la continuité du contenant.

Ces nouveaux enjeux de la mobilité s'accompagnent d'une révolution technologique dans le domaine de l'information et de la communication pour garantir une bonne qualité de service, pour assurer une complémentarité efficace entre les modes et pour répondre aux besoins croissants de sécurité et de sûreté. Les usagers des transports sont en droit d'attendre aujourd'hui de ces nouvelles technologies qu'elles leur fournissent une information multimodale en temps réel pour les guider dans leur choix modal, ou qu'elles assurent la traçabilité et le suivi des marchandises auprès des chargeurs.

Notre mission est d'accompagner ces démarches vers un système de transport performant et durable avec l'ensemble des acteurs.

La recherche et l'innovation doivent nous y aider, ainsi que les échanges avec nos partenaires européens et internationaux, pour repérer les bonnes pratiques et dessiner le transport de demain.



© Alstom



© VNF



© DR

# Le mode fluvial : un enjeu majeur du développement économique et durable de notre territoire



**François Bordry**  
Président de VNF

**L**e mode fluvial a enregistré ces dix dernières années un formidable renouveau. Mode de transport massifié et économe en énergie, il bénéficie d'une forte prise de conscience environnementale, qui s'est traduite au travers du Grenelle de l'Environnement.

Le réseau à grand gabarit, qui permet la navigation de bateaux jusqu'à 4 400 tonnes, assure la compétitivité de ce mode de transport en concentrant 80 % du fret fluvial. Aussi, Voies navigables de France concentre ses investissements sur ces réseaux majeurs qui constituent l'hinterland des grands ports maritimes des différentes façades et les voies transeuropéennes.

Pour accroître la performance de l'ensemble du réseau, il convient à présent de développer les liaisons inter-bassins à grand gabarit, au premier rang desquelles la liaison Seine-Escaut. Cette liaison européenne, qui s'étend du Havre à Gand, bénéficie d'ores et déjà d'un fort soutien de l'Union européenne qui lui a octroyé, dans le cadre des RTE-T (réseaux trans-européens de transport) et sur une demande commune associant la France, la Flandre et la Wallonie avec le soutien des

Pays-Bas, un financement de 420 millions d'Euros sur la période 2007-2013.

La réalisation du canal Seine-Nord Europe, compris entre Compiègne et Aubencheul-au-Bac (près de Cambrai), constitue le maillon central de cette liaison qui relie le bassin de la Seine à ceux de l'Escaut et du Rhin. Inscrit sur un corridor de transport parmi les plus saturés (130 millions de tonnes de marchandises franchissent chaque année ce corridor), le canal répond aux enjeux de report modal et apporte une réponse durable et compétitive à la croissance continue des échanges internationaux.

L'ouverture du canal Seine-Nord Europe accroîtra significativement l'hinterland des ports maritimes français de la rangée Nord (Le Havre, Rouen et Dunkerque) qui pourront appuyer leur développement sur un réseau maillé et élargi de ports intérieurs. Avec la construction de quatre plates-formes multimodales sur une superficie de plus de 360 hectares, le canal sera un véritable vecteur d'aménagement du territoire et de développement économique.

Il constituera ainsi un élément majeur de restructuration et de rééquilibrage de la logistique en Europe et permettra d'ancrer sur le territoire français la valeur ajoutée associée à l'activité fluviale qui, aujourd'hui, s'est très majoritairement positionnée chez nos voisins belges et néerlandais.

Le développement du mode fluvial devient aujourd'hui un enjeu majeur du développement économique de notre territoire, et il s'agit bien, par surcroît, de développement durable !



© DR

## Seine-Nord : un grand canal pour l'Europe



**Jean-Paul Ourliac**  
 Directeur des Transports  
 maritimes, routiers et  
 fluviaux  
 Ministère de l'Écologie,  
 de l'Énergie, du  
 Développement durable  
 et de l'Aménagement du  
 Territoire

**Le canal Seine-Nord Europe sera la section française de la liaison fluviale internationale Seine-Escaut, reliant les bassins de la Seine et de l'Oise au réseau des canaux du nord de la France, et plus largement à l'ensemble du réseau européen à grand gabarit.**

**Ce grand projet est une illustration avant la lettre de la logique développée par le « Grenelle de l'Environnement », fondée sur la concertation entre parties prenantes, acteurs du développement durable.**

Le projet Seine-Nord Europe consiste en la réalisation d'un nouveau canal à grand gabarit, d'une centaine de kilomètres, entre Compiègne et le canal Dunkerque-Escaut. Il permettra l'acheminement de chargements pouvant atteindre 4 400 tonnes.

Cet aménagement vise à accompagner le développement du transport fluvial. Il s'inscrit dans une politique de report modal au service du développement durable, sur un axe nord-sud en voie de saturation. Les conclusions du « Grenelle Environnement » prévoient, à l'horizon 2012, le report de 1 million de poids lourds (soit 4,5 milliards de tonnes-km) sur la voie d'eau, soit une économie d'émission de 250 000 tonnes de CO<sub>2</sub>.

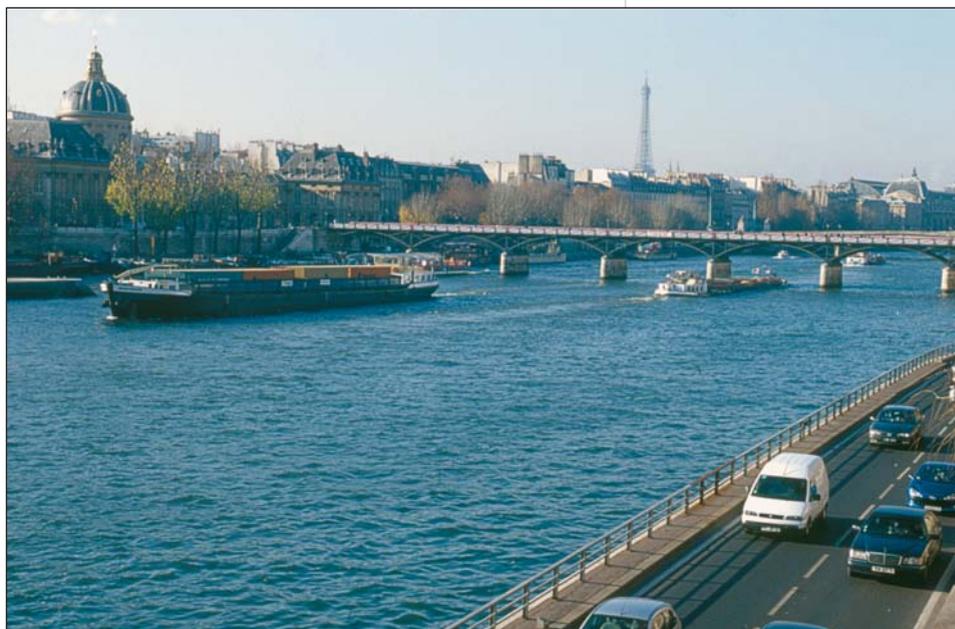
Le CIADT - Comité interministériel pour l'aménagement et le développement du territoire - du 18 décembre 2003, a décidé la poursuite des études, et VNF (Voies navigables de France) a été chargé de conduire les études d'avant-projet sommaire du futur canal.

Le 7 juillet 2004, la Commission nationale du débat public, saisie par VNF, a décidé qu'il n'y avait pas lieu d'organiser un débat public. Elle a recommandé à VNF de mener, sous l'autorité du préfet coordinateur, une concertation devant assurer une information complète et claire du public, lui permettant de s'exprimer sur tous les aspects du projet, tant sur des questions de portée générale que sur des problèmes plus localisés : desserte de Cambrai, devenir du canal du Nord, incidences sur les crues de la Somme et de l'Oise.

L'enquête publique s'est déroulée en 2007 et le Conseil d'État est actuellement saisi.

### ■ Un projet structurant de dimension européenne

Rappelons quelques données de base sur le trafic fluvial en Europe de l'ouest, indispensables pour appréhender l'importance du projet : le trafic fluvial concernant trois pays, Pays-Bas, Allemagne et Belgique, représente



© VNF - P. Le Maître

actuellement près de 83 % du transport fluvial de marchandises en Europe (transports internationaux et nationaux), les transports intra-communautaires étant prédominants. L'objectif de Seine-Nord Europe est d'augmenter de 50 % le trafic français en tonnes-km.

### Transport de conteneurs sur la Seine à Paris

*Containers transport on the Seine in Paris*

#### TRANSPORT DE MARCHANDISES PAR VOIES NAVIGABLES INTÉRIEURES EN EUROPE EN 2006

	Millions de tonnes	Millions de tonnes - kilomètre
Belgique	165,855	8 908
Allemagne	243,495	63 975
France	71,844	9 005
Luxembourg	11,395	381

Source : Eurostat statistiques en bref 13/2/2007

Avec un linéaire de 106 km entre Compiègne et la région de Douai, le canal Seine-Nord Europe constitue l'élément essentiel du projet de liaison fluviale Seine-Escaut, projet prioritaire numéro 30 des réseaux de transport trans-européens.

La future liaison fluviale Seine-Escaut est un projet structurant de maillage fluvial qui permettra de désenclaver

## Seine-Nord : un grand canal pour l'Europe



© VNF

**Vue d'artiste  
de l'écluse de Moislains  
près de Péronne - France**

*Artistic view of  
the Moislains lock nearby  
Péronne - France*

**Transport par barge  
de conteneurs**

*Containers transport on barge*

le bassin de la Seine, principal bassin fluvial français en termes de trafic, en le reliant au réseau à grand gabarit de l'Europe du nord et de l'est. Un ensemble d'opérations d'accroissement des gabarits, tant en Belgique qu'en France, en complément de la réalisation de Seine-Nord Europe, constituera à terme un itinéraire Seine-Escaut, entre Paris et Gand, accessible à la très grande majorité des unités fluviales européennes. Au-delà, c'est l'ensemble des bassins du Rhin et du Danube qui seront directement connectés au bassin de la Seine et sept ports maritimes de la Manche et de la mer du Nord, dont les deux principaux ports européens qui seront reliés entre eux par une voie fluviale de grand gabarit.

Le projet Seine-Escaut implique plus directement la République française et les régions flamande et wallonne de Belgique, ainsi que les Pays-Bas.

Le 20 juillet 2007, les partenaires français, flamand, wallon et néerlandais ont signé une déclaration commune qui prévoit la création d'une Commission inter-gouvernementale (CIG) et d'une structure commune de type groupement européen d'intérêt économique (GEIE), qui interviendra en substitution du Comité Seine-Escaut, pour gérer la redistribution des péages appliqués à la future liaison.

La Commission européenne a accordé à ce projet Seine-Escaut la totalité de la demande commune déposée par la France et la Belgique, au titre du programme pluriannuel 2007-2013, soit 420,19 millions d'euros sur la période 2008-2013, dont 350 millions pour la partie française (333 M€ pour Seine-Nord Europe). Cette proposition a été adoptée le 28 novembre 2007 à l'unanimité des 27 États membres. La Commission soutient la mise en place d'une tarification d'infrastructure sur le futur réseau Seine-Escaut. Elle est également favorable à un mode de financement sous forme de contrat de partenariat. Le projet pourrait bénéficier de contributions européennes aux loyers dus aux partenaires privés, pour la période allant au-delà de 2014.

La Communauté européenne a désigné le 27 septembre 2007 comme coordonnatrice, Karla Peijs, ancienne ministre des transports des Pays-Bas.

En France, les travaux sur l'itinéraire Seine-Escaut ont été engagés depuis 2002 avec les reconstructions des barrages sur l'Oise, la modernisation des ouvrages de navigation sur la Seine à l'aval de Paris et l'accroissement des gabarits, et en particulier des tirants d'air, sur



© VNF

le canal Dunkerque-Escaut et sur la Deûle. En Belgique, les aménagements de la Lys ont débuté dans les secteurs de Gand et Courtrai.

Les contrats de projets signés, pour la période 2007-2013, par l'État et les régions de Picardie, du Nord-Pas-de-Calais et d'Île-de-France prévoient la réalisation de nouvelles opérations destinées à préparer la continuité au grand gabarit de la liaison Seine-Escaut, en complément de la réalisation du canal Seine-Nord Europe, en particulier l'aménagement de la Lys mitoyenne, le doublement de l'écluse du Quesnoy-sur-Deûle, la réouverture du canal Condé-Pommeroeul, et l'approfondissement du chenal de l'Oise.

À l'horizon 2020, l'Europe du nord-ouest disposera d'une infrastructure fluviale performante et continue, permettant la circulation d'unités fluviale de 4 400 tonnes du Havre aux bassins de l'Escaut et du Rhin, jusqu'au Danube.

## ■ Un nouveau système de transport dans le quart nord-ouest de la France

Sur le plan national, Seine-Nord Europe revêt une importance particulière. Notre pays n'a pas réalisé d'infrastructure fluviale significative depuis les années soixante. Ce projet marquera un tournant dans l'organisation du transport des marchandises dans le Bassin parisien.

Le canal trouve toute sa place dans la politique de réduction des nuisances liées aux activités de transport. Ce projet accroît fortement la part de la voie d'eau dans les pré et post-acheminements terrestres par transfert depuis la route. Le report modal de la route vers la voie d'eau, généré par l'ouverture de cette nouvelle infrastructure fluviale, représentera 4,5 milliards de tonnes-km en 2020, soit 500 000 poids lourds en moins sur les routes chaque année.

L'originalité du projet ne réside pas dans la réalisation d'une nouvelle infrastructure linéaire, mais dans sa prise en compte, dès sa conception, de quatre plateformes d'échanges multimodales : trois en Picardie, à Noyon, Nesle et Péronne et une dans le Nord-Pas-de-Calais, à Marquion, près de Cambrai. Le nouvel aménagement prend également en compte des quais de transbordement céréaliers, essentiels pour une région de grande production agricole comme la Picardie.

Seine-Nord Europe participe pleinement au renforcement du réseau des ports intérieurs et au développement de l'intermodalité.



© VNF - Archivideo



© VNF

Par ses possibilités de massification, le transport fluvial de grand gabarit assurera également la desserte des cœurs d'agglomération en toute sécurité, sans interférence avec les trafics de voyageurs, sur une infrastructure conservant des marges importantes de capacité.

Le canal Seine-Nord Europe permettra le développement de nouvelles modalités d'échanges de marchandises au sein des zones urbanisées, telles que l'Île-de-France et le Nord-Pas-de-Calais, et la réduction des nuisances liées à la circulation des poids lourds, en termes de pollution atmosphérique et de congestion routière.

En outre, le projet constitue une opportunité de développement pour nos ports de Rouen, Le Havre et Dunkerque, qui voient leur hinterland considérablement agrandi.

Seine-Nord Europe ouvre pour les ports normands des possibilités de relations fluviales massifiées vers le nord du Bassin parisien, le Nord-Pas-de-Calais, mais

Transport fluvial des marchandises jusqu'au cœur des cités

Waterway goods transport towards city centers



## Seine-Nord : un grand canal pour l'Europe

*Vue d'artiste  
d'un pont bipoutre  
Artistic view of  
a twin-beam bridge*



© VNF - Archivideo

également au-delà, vers la Belgique et le bassin rhénan, soit un pôle de production et de consommation de 45 millions d'habitants. Cette connexion vers le nord et l'est est un facteur favorable au positionnement de l'ensemble Le Havre - Rouen comme première place portuaire rencontrée sur la rangée nord. L'amélioration de la desserte fluviale de l'avant-port à conteneurs de Port 2000 sera également de nature à dynamiser les échanges au niveau du Havre. L'ouverture du bassin de la Seine induit un élargissement de la zone de compétition entre les ports de la

rangée nord qui devrait profiter à chacun d'entre eux en termes d'évolution de leurs trafics.

Le nouveau canal renforcera la compétitivité du transport fluvial sur la Seine. La possibilité de faire venir plus facilement de nouveaux bateaux rendra l'offre fluviale plus souple et donc plus apte à répondre aux besoins des industriels et logisticiens. Les études d'avant-projet conduites par VNF évaluent le différentiel de trafic fluvial sur la Seine à environ 25 % en 2020 (40 % pour les conteneurs) avec ou sans Seine-Nord Europe. Plus de la moitié de cette croissance sera liée à des trafics internes au bassin de la Seine, captés par la voie d'eau du fait de la mise en réseau.

### ■ Contribuer à l'aménagement du territoire

Au plan local, Seine-Nord Europe constitue pour les régions traversées - pour la majeure partie la Picardie - une formidable opportunité de développement et d'aménagement du territoire.

*Transport par barge de  
matériaux de construction  
Construction materials  
transport on barge*



© VNF

L'implantation de quatre plates-formes multimodales, d'une surface totale de 360 hectares le long de la voie d'eau, permettra le développement d'activités industrielles et logistiques. L'enjeu en termes d'emploi est très important, de l'ordre de 25 000 emplois pérennes à l'horizon 2030.

La voie d'eau pourra également assurer le transport massifié et économique des productions agricoles et agro-industrielles régionales.

Parallèlement, d'autres projets, liés à la navigation de plaisance et au tourisme, pourront voir le jour. La réalisation de deux retenues d'eau dans le secteur de Péronne, pour les besoins en alimentation du canal, offre un potentiel de valorisation touristique intéressant.

Des collectivités locales travaillent dès à présent sur des projets de développement et d'accompagnement territorial de l'ouvrage, à la fois sur les aspects touristiques, agricoles et industriels.

Seine-Nord Europe est par définition un projet de développement durable. La création d'une voie d'eau sur une centaine de kilomètres à travers la Picardie et le Nord-Pas-de-Calais représente bien plus qu'une simple infrastructure de transport. Ce canal offre également une opportunité de pratiquer des transferts d'eau au profit des agglomérations du Nord, comme Lille, dont les besoins en approvisionnement sont croissants et nécessitent un apport extérieur.

En outre, le projet aura des impacts locaux positifs et significatifs en matière de réduction du niveau des crues, en particulier dans la vallée de l'Oise en amont de Compiègne, durement touchée par les inondations de 1993 et 1995. Des estimations font apparaître que les abaissements de niveaux d'eau permettront une réduction des dommages de l'ordre de 14 millions d'euros.

Enfin, la réalisation de Seine-Nord Europe suscitera la création d'un plan d'eau artificiel, équipement pour lequel l'État et les collectivités seront exigeants en matière de traitement environnemental, comme sur le plan de la sécurité pour les populations riveraines. ■

## ABSTRACT

### *Seine-Nord: a major canal for Europe*

J.-P. Ourliac

*The Seine-Nord Europe Canal will be the French section of the Seine-Scheldt international river link connecting the Seine and Oise basins to the canal network of northern France and more broadly to the entire European wide-gauge network.*

*This major project is an ex ante illustration of the approach adopted by the "Grenelle Environnement" environmental conference, based on coordination between the stakeholders in sustainable development.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### *Sena-Norte: un gran canal para Europa*

J.-P. Ourliac

*El canal Sena-Norte-Europa constituirá el tramo francés del enlace fluvial internacional Sena-Escaut, al poner en comunicación las cuencas del Sena y del Oise con la red de los canales del Norte de Francia, y en particularidad con el conjunto de la red europea de gran galibo.*

*Este importante proyecto es una ilustración antes de la carta de la lógica desarrollada por el "Grenelle Environnement", que se funda en la concertación entre partes interesadas y actores del desarrollo sostenible.*

# Seine-Scheldt link: a major European

**On the 27<sup>th</sup> of September 2007, the European Commission has appointed a new TEN-T Waterway Coordinator, Mrs Karla Peijs, former Netherlands Transport Minister. She draws an overview of the Project for TRAVAUX Magazine.**

**By Mona Mottot**

an important part of the NAP). It is really a firm basis, under the coordination of the European Commission, to make more and better use of the inland waterways.

## ■ How will the Seine-Nord Europe Canal contribute to the rationalisation of the European Transport System?

If you look around in this part of Europe, in the Netherlands, in Germany, in Belgium and in France, all those countries have big cities and cities-like environments. We must consider the fact that roads in Europe are very congested. And at the same time, it has been predicted that the freight transport of goods will grow, certainly double, or at least increase over 80%. This growth is impossible to be achieved with the road only. The growth of freight traffic must be accompanied by a transfer of capacity from road transport to railway and waterway transport. This switch would ultimately reduce the congestion of the large Northern European roads. We really need the rail, but we have to be realistic: on the rail, we can only deal with limited percentages. In the Netherlands, we built the first dedicated freight rail and it represents only 6 to 7% of the whole transport capacity. Thus, waterway transport makes its comeback as competitive alternative to road transport. This would be enhanced by an increase in the maximum tonnage of boats and consequently a very significant drop in transportation costs. This transport modes rationalisation will positively impact the involved countries activities.

## ■ How is the Seine-Nord Europe Canal Project integrated within the Naiades Action Program?

The Naiades Action Program (NAP) objective is to promote inland navigation and to implement solutions in order to enhance the inland waterways transport.

The *white book* on transport published in 2001 by the European Commission and revised in 2006, made it clear that it is no longer possible to only focus on the roads in the European Union. We need all modes of transport: roadways, railways and waterways. Airways transport of goods is limited to high value products as this transport mode is quite more expensive.

If we think of sustainable transport modes, then we think rail and navigation. The Naiades Action Program which focuses on waterways is a direct consequence of the EC *white book* on transport. All is specified: what can we do for shipping on waterways; how can we make it easier and safer (risks are

## ■ How will this Project facilitate the economic and industrial development of the crossed regions?

In the North of France, there is now a very narrow canal towards Paris. It is not possible to go through with ships bigger than 1200 tons. So it is not satisfactory to really provide everything that the Paris-Ile-de-France Region needs. Solving this bottleneck problem on the French side could enable 15 million tonnes of additional freight as early as the first years of operation of the Canal.

Also the French Government Plan programmed four important multi-modal logistics platforms which will have strong local impacts on economics. Each of



© VNF - P. Cheuva

# priority project

these platforms will attract all kind of activities within the regions the Canal will go through. For the French north region of Picardie, it will have an important social and economical impact. And this is not limited to France. That is why the European mission is interesting, because it will also strongly impact Wallonia, Flanders, and at a lesser extend also the Netherlands.

## ■ How will multi-modal platforms impact the local social and economical activities?

I think there will be a huge impact because barges will transport goods to the deep water ports through wide-gauge water transportation system. So, also the ports traffic will be affected. Many terminals will be developed in France and also in Flanders.

The Seine Nord Canal will strongly impact the local activities, and the biggest impact will be nearby the Canal, in the inlands, all around the multimodal logistics platforms. In Flanders, they are also building terminals close to Ghent and they are allocating these terminals to private companies. There will be a boost of construction all over. More importantly, this will enable the connection to the Dutch Maas and then to the Rhine network.

It is therefore understandable that everybody is looking forward to the official launch of the project Seine-Scheldt that will be given 420 M€ from the TEN-T budget. The project has been jointly presented by the French Government and the two Belgian Communities. The French government has taken the decision in principle, but the canal will only be realised if also the private part of the financing will be achieved. So Flanders and Wallonia want to be sure that this financial support will be confirmed before launching all the programmed works.

## ■ What are your targets in term of environmental impact ?

Reaching environmental targets is not under the European Commission responsibility. The Project is under the responsibility of the French Government. The European Commission wants to support, with an enormous amount of money, the studies for the Canal in connection with the *white book* and the Naiades Program. The European Commission appointed

coordinators for different complex projects with the mission to help solving problems, the responsibility of the projects remains in the hands of governments. Of course the countries are bound by European Environmental Directives.

## ■ How do you consider your personal task in this Project as TEN-T Waterway Coordinator?

I am working in close relation with 'Voies navigables de France'. I am also talking with ministers for all the concerned countries. As an expert, I have not only the political authority, but also the technical approach to the inland waterways. The Netherlands have a tradition of centuries in the waterways, using them very intensively, more than the whole of Europe. France and Belgium will benefit more from the project than the Netherlands. That fact will add to the confidence in the Coordinator.

This project appears to be a real success story for Europe, because everyone has already a very dense road network, and the opportunity to transport more goods on waterways will not only spare a lot of money but also keep the landscape as beautiful as it is. This is an important criterion for the environmental groups. They consider that it is very important not to extend the road traffic. It is fantastic that these environmental groups are supporting the Project because that will really mean that the Canal will be done within a few years, and will not take almost a life time.

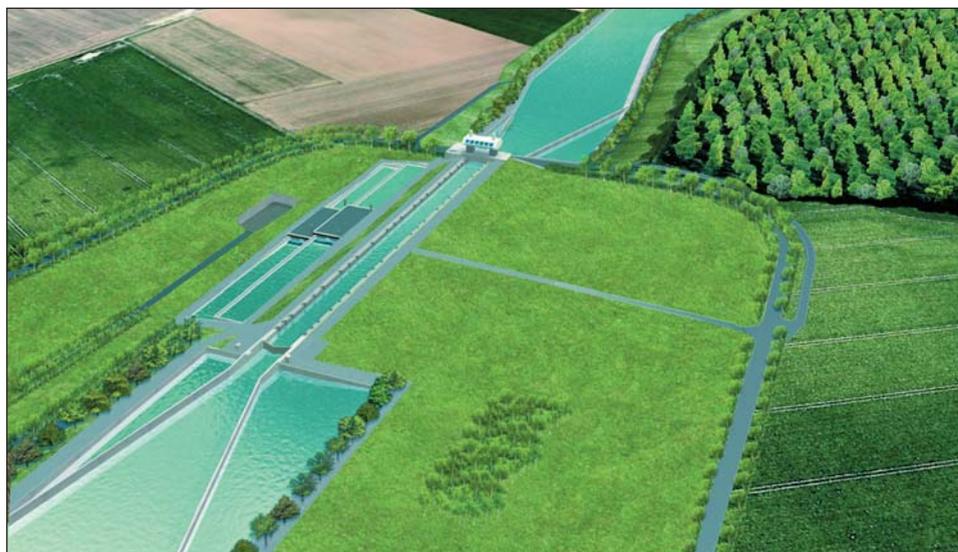


**Karla Peijs**  
TEN-T Waterway  
Coordinator  
European Commission



© VNF - P. Cheuva

Seine-Scheldt link : a major European priority project



© VNF - Archivideo



© DR



■ **What will be the next steps of the Inland Waterways Program in Europe?**

When I was appointed, the European Commission asked me to take special care of Priority projects Seine-Scheldt and the Rhine/Meuse-Main Danube as I put priority programs. One is the Seine-Scheldt link, and the second is the Danube Program.

The Danube Program is a gigantic work, because this river stretches for more than 3 000 km, and it will provide huge opportunities to the crossed regions. It is a difficult challenge and there is a lot of work to be done.

The key issue is that the two projects together will complete a real waterway network connecting Europe. Only the Mediterranean countries and the west side mainly, will not be affected. In a close future, there will be a waterway network linking Oural to the Mediterraneans and to the North Sea. You'll no longer have to rely only on roads and railways.



■ **Did the Danube Project already start ?**

Yes, it started with works in both Romania and Bulgaria. Romania has the task to do the waterworks. There is an important environmental issue that is under discussion, in that the infrastructural works may have an impact on the habitat of fishes, including the threatened sturgeons. Workshops have been organised to discuss with environmental groups. This project will connect all the new EU members' states to the Black Sea. In a way it will also connect Turkey with Western Europe by inland waterways, and not only by sea.

It will enter in service in 2015-2017. The works that will connect Austria with the Black Sea will be achieved a little earlier in 2013. In the meantime, there are also other smaller projects, parts of this coordinated approach for the inland waterways.



■ **A special message?**

In conclusion, I would like to drive your attention on the importance of balanced economical, social and environmental aspects of such huge programs. All these aspects must be taken into proper consideration, particularly in relation to each other. Thus, these Trans-European programs will be clear opportunities for the development of our countries. ■

# Canal Seine-Nord Europe : Seine-Escaut

Projet prioritaire des réseaux transeuropéens de transport, la liaison Seine-Escaut assurera, à l'horizon 2014, la connexion fluviale à grand gabarit depuis le bassin de la Seine à 20 000 km de voies fluviales des bassins de l'Escaut et du Rhin jusqu'au Danube. Cette liaison, déterminante pour le développement du réseau fluvial européen à grand gabarit, favorisera l'essor de la navigation fluviale non seulement vers l'Europe

du Nord mais aussi vers l'Europe centrale et orientale jusqu'à la mer Noire.

Le projet Seine-Escaut implique plus directement la France, les régions flamande et wallonne de la Belgique, ainsi que les Pays-Bas. Le canal Seine-Nord Europe, situé sur le territoire français et constitué d'un linéaire de 106 km entre Compiègne et la région de Cambrai, s'inscrit au cœur du projet de liaison Seine-Escaut dont il constitue le maillon central.

Tour d'horizon du projet canal Seine-Nord Europe avec Nicolas Bour, directeur de la Mission Seine-Nord Europe, Voies navigables de France.

Par Mona Mottot

## ■ Quels sont les objectifs de la liaison Seine-Escaut ?

Seine-Escaut est un projet global, qui vise le développement d'un système de transport fluvial compétitif mais aussi d'aménagement du territoire et d'essor économique durable. Son ambition est de permettre une meilleure structuration du réseau fluvial nord-européen pour mieux répondre aux besoins croissants de la logistique moderne.

Avec la réalisation d'un réseau performant de ports multimodaux, Seine-Escaut a pour vocation première de répondre à l'intensification et l'efficacité des échanges commerciaux entre l'Europe et le reste du monde (25% des échanges mondiaux) et intra-européens (28% des échanges mondiaux) ; de cette façon, il contribuera à favoriser la croissance et le rééquilibrage simultané de l'activité logistique en Europe dans une approche multimodale associant tous les modes de transport massifiés (maritimes, fluviaux et ferroviaires) permettant ensuite une desserte fine des territoires par voie routière. Le développement des infrastructures fluviales induira un report modal des trajets à grandes et moyennes distances de la route vers la voie d'eau, transfert qui limitera à terme la saturation des grands axes routiers du nord de l'Europe. Parallèlement, ce rééquilibrage des modes de transport stimulera l'essor économique et industriel des régions traversées.

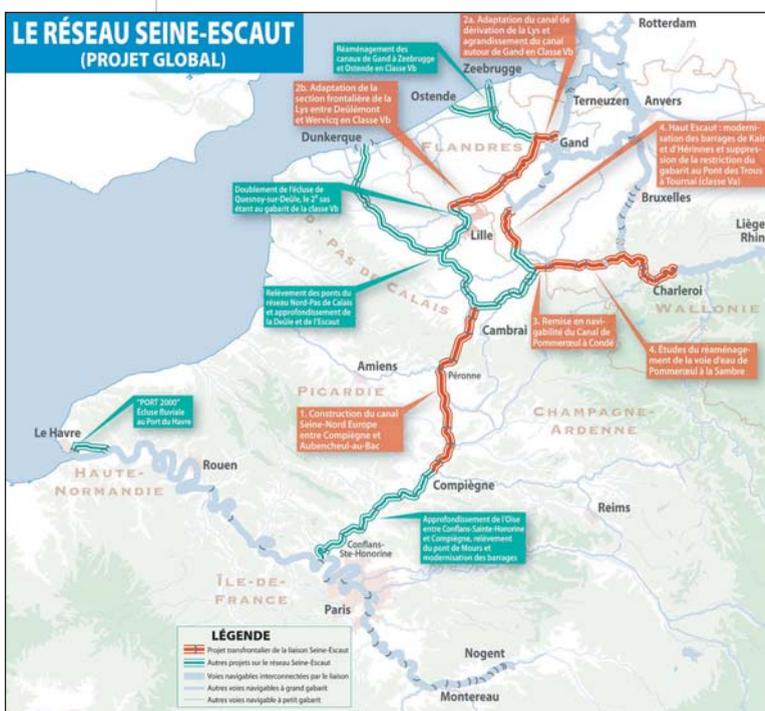
## ■ Quelles sont les infrastructures prévues dans les pays traversés par la liaison Seine-Escaut ?

**La réalisation de cette liaison nécessite des travaux en France et en Belgique :**

- en France : la construction du canal Seine-Nord Europe entre Compiègne et Aubencheul-au-Bac (à l'ouest



La liaison Seine-Escaut (Réseau de ports multimodaux)  
*The Seine-Scheldt link (Multimodal ports network)*



Le réseau Seine-Escaut (Projet global)  
*The Seine-Scheldt network (Global project)*

# maillon central de la liaison



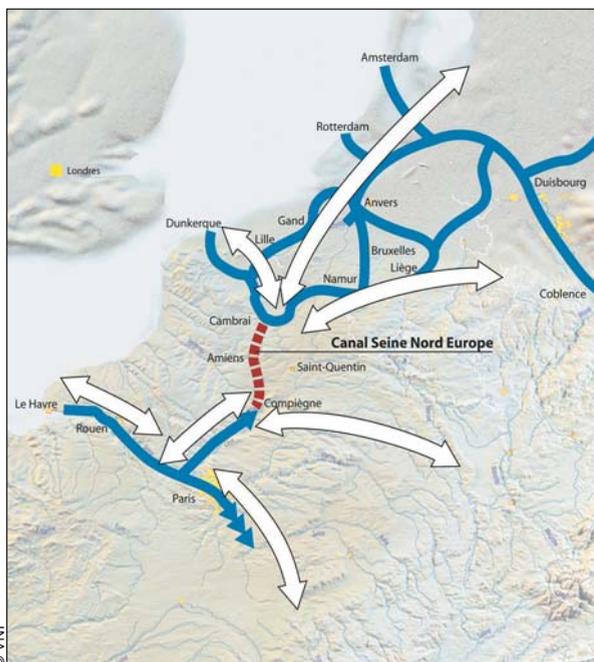
**Nicolas Bour**  
 Directeur de la Mission  
 Seine-Nord Europe  
 Voies navigables  
 de France

de Cambrai) et l'aménagement des prolongements nord (aménagement des canaux Dunkerque-Escaut et de la Deûle, aménagement de la Lys, réouverture du canal Condé-Pommeroeul) et sud (l'Oise de Compiègne à Conflans-Sainte-Honorine) ;

- en Belgique : aménagements en Flandre (Lys et Escaut inférieur) et en Wallonie (Escaut et dorsale wallonne).

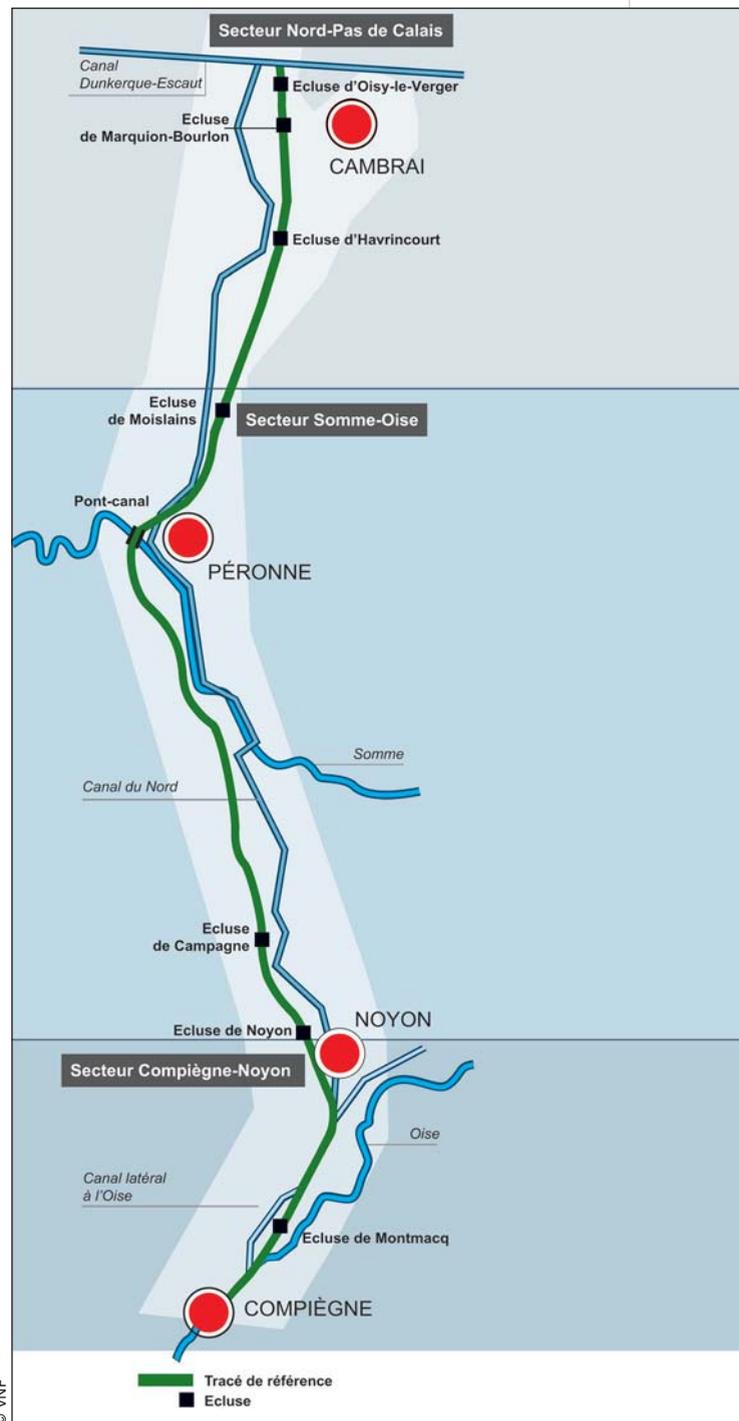
## ■ Comment le canal Seine-Nord Europe s'inscrit-il dans le cadre de la liaison Seine-Escaut ?

Le canal Seine-Nord Europe constitue le maillon central de la liaison Seine-Escaut. Il reliera à terme l'Oise (à Compiègne) au canal Dunkerque-Escaut (à Aubencheul-au-Bac, à côté de Cambrai). Son principal objectif est la suppression du goulet d'étranglement fluvial en France, par la création d'une nouvelle section à grand gabarit qui connectera le réseau séquanien à celui de l'Europe du Nord. Ce canal aura pour effet de stimuler le transport de marchandises par voie fluviale et permettra de transférer près de 15 millions de tonnes de fret sur la voie d'eau dès les premières années d'exploitation du Canal Seine-Nord Europe.



Canal Seine-Nord Europe : maillon central de la liaison Seine-Escaut

*Seine-Nord Europe canal: core of the Seine Scheldt link*



Un canal de 106 km de long (classe Vb) entre Compiègne et le canal Dunkerque-Escaut

*A canal 106 km long (class Vb) from Compiègne to Dunkerque-Scheldt canal*

### CANAL SEINE-NORD EUROPE PROGRAMME PRÉVISIONNEL

#### DATES-CLÉS

- Décret d'utilité publique : mi-2008
- Études détaillées et dialogue compétitif : 2009-2010
- Acquisition foncière : 2007-2009
- Début des travaux préparatoires : mi-2009
- Finalisation du contrat PPP : fin 2010
- Mise en service du canal : 2014

Canal Seine-Nord Europe : maillon central de la liaison Seine-Escaut



■ Quelles sont les caractéristiques du canal Seine-Nord Europe ?

Sur une emprise globale de 2 450 ha, le canal suivra un tracé de 106 km de long, 54 mètres de large et 4,5 mètres de profondeur, allant de Compiègne jusqu'à Aubecheul-au-Bac près de Cambrai.

Le projet intègre la réalisation de 4 plates-formes multimodales, sur une emprise de 360 ha, destinées à offrir à la fois des services de transport multimodaux (navettes fluviales régulières à destination des ports maritimes, navettes ferroviaires) et des espaces d'implantations privilégiés pour l'industrie ou les activités logistiques créatrices de valeur ajoutée.

Le choix des sites des plates-formes a été fixé en tenant compte des complémentarités modales des infrastructures existantes (ferroviaires sur Nesle, routières ou autoroutières sur Cambrai-Marquion, Péronne-Haute Picardie et Noyonnais) ou à développer, permettant aux plates-formes portuaires de jouer un rôle de « hub » au service d'un vaste territoire. A terme, ces plates-formes logistiques constitueront de nouvelles sources de croissance, de développement économique et de création d'emplois.

Ce projet comprend également la mise en place de centres logistiques de distribution et contribuera ainsi à la massification des transports fluviaux grâce au développement de l'intermodalité eau-rail-route.

CANAL SEINE-NORD EUROPE ET AMÉNAGEMENTS CONNEXES DE COMPIÈGNE JUSQU'À CAMBRAI.

• 8 biefs connectés par 7 écluses



• 2 bassins réservoirs pour l'alimentation en eau durant les périodes d'étiage



• 3 ponts-canaux dont un de 1300 m de long permettant le franchissement de la Somme

• 59 franchissements routiers et ferroviaires

• 55 millions de m3 de déblais-remblais



• 4 plates-formes multimodales



• 7 quais de transbordement servant d'échange avec les autres modes de transport (route et rail)



• 5 équipements pour la plaisance

### PLATE-FORME MULTIMODALE DE CAMBRAI-MARQUION

#### Prévision de transport par voie d'eau en 2020

- Capacité : 1215 Mt
- Conteneurs : 30 000 ÉVP

#### Surface portuaire : 156 ha

- Incluant 30 ha de parc logistique, 18 ha de parc d'activités et 52 ha de terrain industriel et logistique en liaison avec la voie d'eau
- Un terminal conteneurs de 20 ha

#### Services intermodaux :

- Un quai de 1000 m
- Services ferroviaires

**1400 emplois en 2020**



- 1 - Écluse de Marquion Bourlon
- 2 - Diffuseur Autoroute A26
- 3 - Zone de services (restaurants, commerces, services aux transporteurs)
- 4 - Terminal conteneurs
- 5 - Parc d'activités industrielles embranchées
- 6 - Voie ferrée
- 7 - Déchetterie
- 8 - Parc d'activités logistiques
- 9 - Parc d'activités industrielles légères

### PLATE-FORME MULTIMODALE DE PÉRONNE - HAUTE-PICARDIE

#### Prévision de transport par voie d'eau en 2020

- Capacité : 780 000 t
- Conteneurs : 18 000 ÉVP

#### Surface totale : 60 ha

- Incluant 30 ha de parc logistique et activités, 30 ha de sites industriels et port public (terminal conteneurs polyvalent)

#### Services intermodaux :

- Un quai de 400 m
- Possibilité de service ferroviaire

**500 emplois en 2020**



- 1 - Terminal conteneurs
- 2 - Parc d'activités industrielles embranchées
- 3 - Parc d'activités logistiques
- 4 - Voie ferrée
- 5 - Zone de services (restaurants, commerces, services aux transporteurs)
- 6 - Déchetterie

### PLATE-FORME MULTIMODALE DE NESLE

#### Prévision de transport par voie d'eau en 2020

- Capacité : 1 165 Mt
- Conteneurs : 14 000 ÉVP

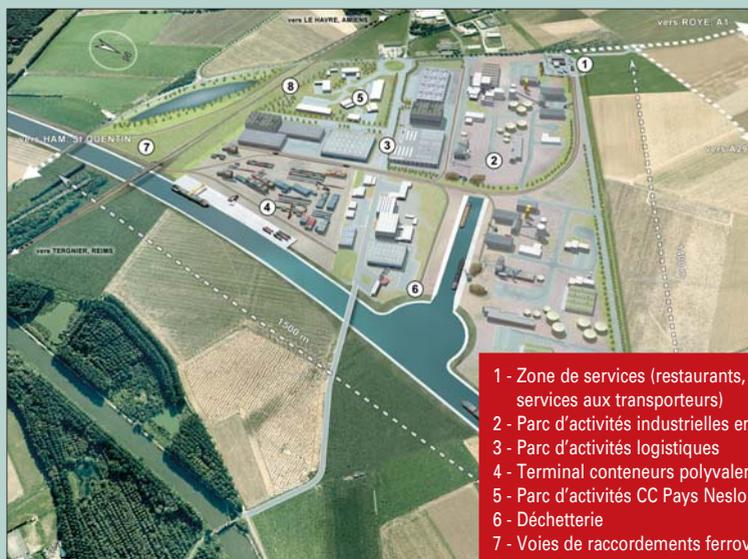
#### Surface portuaire : 90 ha

- Incluant 43 ha de sites industriels, 17 ha d'entrepôts, 30 ha de port public (conteneurs) et zones de service ferroviaire

#### Services intermodaux :

- Un quai public de 400 m
- Quais industriels de 800 m
- Services ferroviaires (port et zone industrielle)

**800 emplois en 2020**

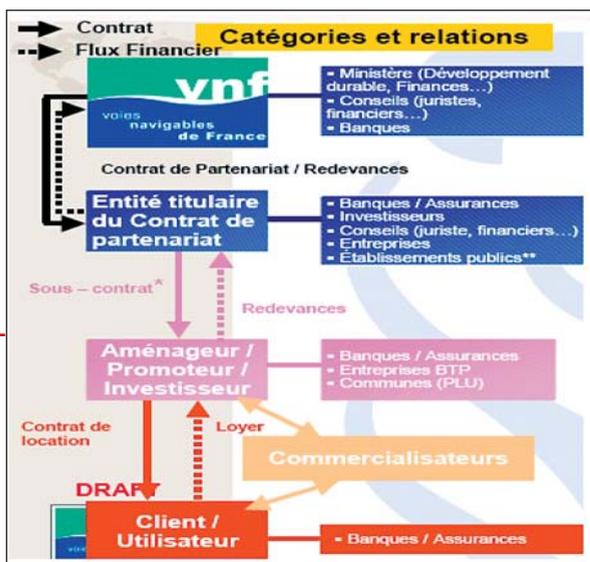


- 1 - Zone de services (restaurants, commerces, services aux transporteurs)
- 2 - Parc d'activités industrielles embranchées
- 3 - Parc d'activités logistiques
- 4 - Terminal conteneurs polyvalent
- 5 - Parc d'activités CC Pays Neslois
- 6 - Déchetterie
- 7 - Voies de raccordements ferroviaires
- 8 - Voie ferrée Amiens-Tergnier

Canal Seine-Nord Europe : maillon central de la liaison Seine-Escaut

Esquisse d'artiste du futur canal Seine-Nord  
Artistic drawing of the futur Seine-Nord canal

Schéma de développement d'une plate-forme multimodale



de transport (y compris les pré et post acheminements routiers pour la voie d'eau et le rail quand ils sont nécessaires).

**Route, rail, navigation : le point sur les coûts de transport**

12€/t	Grand gabarit	3€/t
17€/t	Petit gabarit	4€/t
21€/t	Camion	12€/t
22€/t	Train	5€/t

■ Coût moyen de transport d'une tonne sur 350 Km y compris pré et post-acheminement pour le rail et la navigation  
■ Coûts externes pour une tonne transportée sur 350 Km (coûts non intégrés dans le coût de transport : congestion, bruit, accident, pollution...)

Source VNF

Quels partenaires potentiels du développement ?

- Aménageurs immobiliers privés
- SEM locales
- Chambres consulaires
- ...

■ Comment la voie fluviale peut-elle être compétitive face aux autres modes de transport ?

Le transport fluvial est un outil de compétitivité pour les territoires et leurs entreprises grâce à l'augmentation du tonnage maximal des barges qui aura pour conséquence la diminution significative des coûts de transport. À la sortie d'un port maritime, une escale de 2 000 conteneurs ÉVP (équivalent vingt pieds) nécessitera 10 barges, ou 30 à 40 trains complets ou 1500 camions.

Le canal Seine-Nord Europe va donc offrir aux entreprises utilisatrices de la voie d'eau et surtout à celles qui convoient aujourd'hui leurs marchandises par d'autres moyens, des solutions logistiques nouvelles s'appuyant sur les atouts inhérents au transport fluvial que sont la fiabilité et la sécurité, ainsi que sur l'atout principal du grand gabarit : la compétitivité des prix. Ce tableau précise pour les coûts directs (en bleu) et les coûts externes (en vert) la comparaison du coût moyen de transport d'une tonne sur 350 km suivant les différents modes



## ■ Quel sera l'impact environnemental du canal Seine-Nord Europe ?

Le projet du canal Seine-Nord Europe a été conçu dans un souci de respect de l'environnement, une priorité majeure qui prévaudra tout le long du tracé. Les sites les plus sensibles ont été identifiés et ont orienté la conception du projet.

En termes environnementaux, le canal Seine-Nord Europe et plus globalement la liaison Seine-Escaut contribueront de façon décisive aux objectifs de développement durable. En favorisant le report modal d'une partie du trafic routier vers la voie d'eau, ce réseau grand gabarit permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

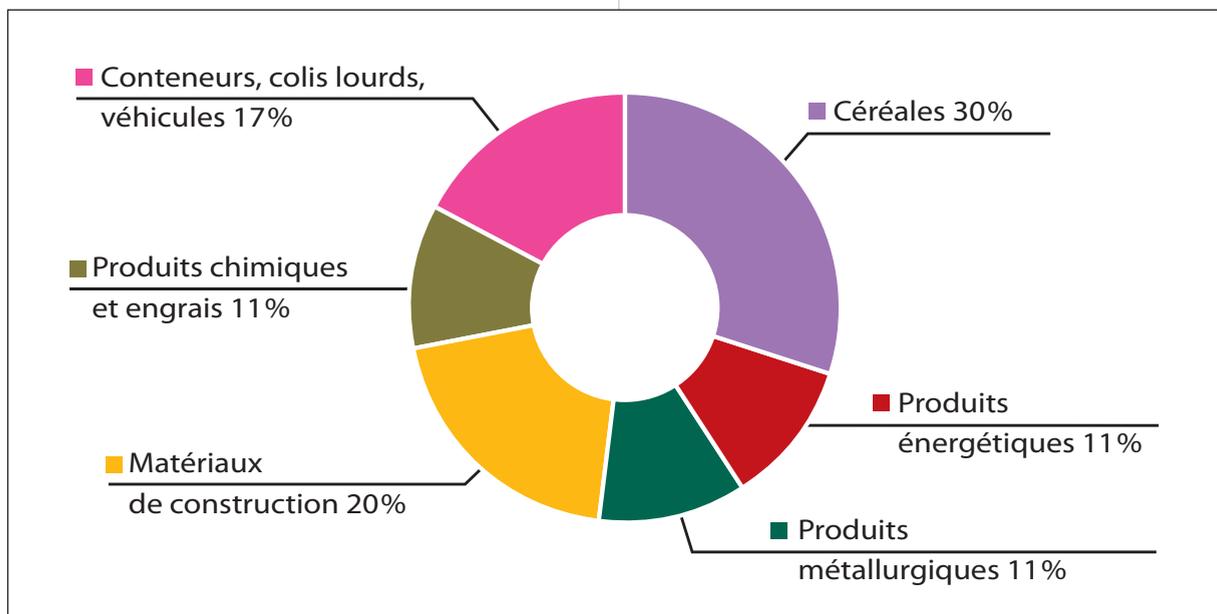
Le choix des sites d'implantation des plates-formes multimodales et l'intégration du projet global tiennent compte de critères environnementaux performants et se feront en concertation permanente avec les localités concernées.

Le canal apportera également des solutions à des problématiques hydrauliques, qu'il s'agisse d'alimentation en eau ou de gestion des crues, en réduisant notamment les effets destructeurs des crues de rivières comme l'Oise et la Somme.

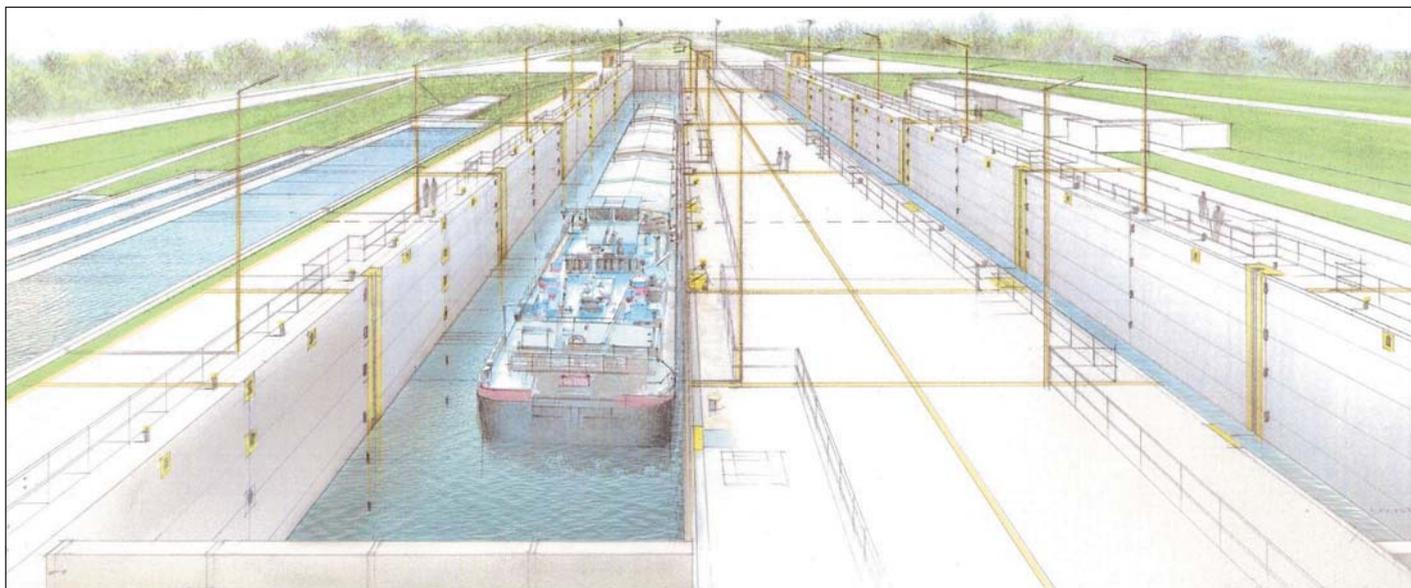
Enfin, la voie d'eau est porteuse d'une valorisation touristique des territoires traversés, de leurs atouts naturels voire culturels : elle revêt ainsi un caractère multifonctionnel qui en fait, plus que toute autre, l'infrastructure par excellence du développement durable.

### Nature des biens transportés sur le canal Seine-Nord Europe

Projection en 2020 (tonne-km)



Canal Seine-Nord Europe : maillon central de la liaison Seine-Escaut



© DR

**■ Quelle est l'évolution attendue pour les activités logistiques dans l'UE à moyen et long terme ?**

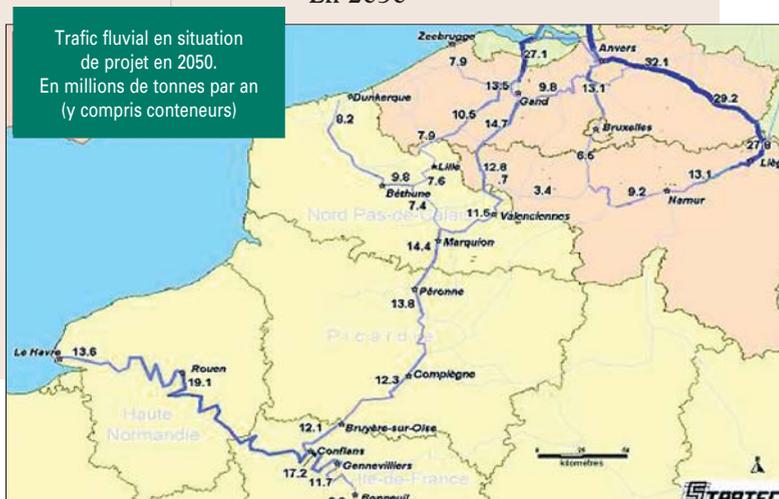
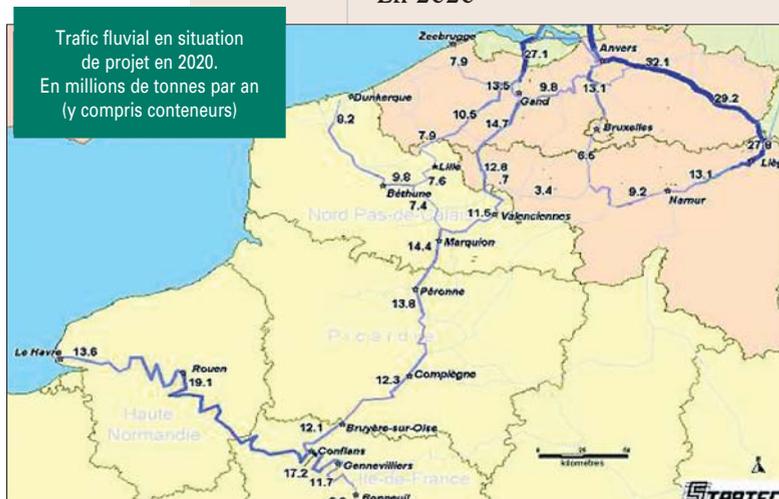
Les développements logistiques conséquents à la construction des infrastructures entraîneront une croissance territoriale bénéfique à la France, avec la décentralisation relative de l'organisation logistique. En Belgique et aux Pays-Bas, la décentralisation concernera principalement les centres de distribution spécialisés dans les textiles "low-cost", les biens de consommation et les produits agro-alimentaires.

Esquisse d'artiste du futur canal Seine-Nord  
Artistic drawing of the futur Seine-Nord canal

**Évolution du trafic fluvial grâce au développement logistique**

En 2020

En 2050



Source VNF

Source VNF

## Les atouts d'une réalisation en contrat de partenariat public privé

En France, la Mission d'Appui à la réalisation des contrats de Partenariats Public-Privé (MAPPP) a confirmé, dans son avis du 13 octobre 2006, l'éligibilité du projet Seine-Nord Europe à un contrat de partenariat public-privé (PPP).

Le recours à un PPP permet d'optimiser le projet, d'optimiser le coût du projet et de réduire les délais de construction. Par ailleurs, la constitution des groupements de partenaires privés permet de réunir des compétences diverses, très spécialisées et spécifiquement adaptées aux différentes fonctions du projet, au niveau européen, autant pour la construction que pour la totalité des services offerts au marché et aux territoires à l'horizon de l'ouverture du canal, grâce aux fonctions multi-usages de la voie d'eau.

Cet outil permet aussi de gérer plus globalement des projets complexes, en intégrant l'infrastructure ainsi que les activités complémentaires qui y sont liées dans un seul et même contrat. Ce montage crée une forte dynamique autour du projet en mobilisant l'ensemble des acteurs concernés et participe au développement des territoires.

Selon la MAPPP, les besoins en financement public pour Seine-Nord Europe seraient, grâce au PPP, réduits de 6% à 40% suivant les hypothèses. De plus, le projet pourrait, à travers la procédure de « dialogue compétitif », être enrichi par le développement d'activités économiques annexes proposées par le partenaire privé dans le cadre du projet.

En effet, le dialogue compétitif offre aux opérateurs privés et à la personne publique la possibilité d'optimiser progressivement le projet, pour aboutir au choix de la solution la plus adaptée au projet dans des conditions de risques maîtrisées. Ces discussions et échanges d'idées ouvrent souvent la voie à la mise en œuvre de solutions nouvelles et innovantes. Si le gouvernement français confirme la réalisation du canal Seine-Nord Europe dans le cadre d'un contrat de partenariat Public-Privé, l'avis d'appel public à la concurrence pourrait être lancé à l'automne 2008 et le dialogue compétitif pourrait s'ouvrir dès le début 2009.

### Un partenariat européen

Bien que situé sur le territoire français, le canal Seine-Nord-Europe est un projet européen dont la conception, la construction, l'exploitation, la régénération, la mise en œuvre des plates-formes et des activités annexes nécessitent un partenariat européen.

Ce projet global et complexe a besoin de la multiplicité des compétences et de la diversité des expertises des partenaires privés issus des différents pays européens. Cette collaboration et cet échange entre les partenaires privés européens sont des éléments fondamentaux de la réussite du projet.

Source :  
FIEC (Fédération de l'Industrie européenne de la Construction)

## ABSTRACT *Seine-Nord Europe Canal: core of the Seine-Scheldt link*

N. Bour

*A priority project in the Trans-European Transport Network, the Seine-Scheldt link will, by around 2014, provide a wide-gauge river connection from the Seine Basin to 20,000 km of wide-gauge waterways of the Scheldt and Rhine basins through to the Danube. This link is decisive for expansion of the wide-gauge European river network and will promote the rapid development of river navigation not only to northern Europe but also to central and eastern Europe as far as the Black Sea.*

*The Seine-Scheldt project more directly concerns France, the Flemish and Walloon regions of Belgium, and the Netherlands. The Seine-Nord Europe Canal, located on French territory over a length of 106 km between Compiègne and the Cambrai region, is the key component of the Seine-Scheldt link project of which it is the heart. Overview of the Seine-Nord Europe Canal project with Nicolas Bour, Director of the Seine-Nord Europe task force, Voies Navigables de France.*

## RESUMEN ESPAÑOL *Canal Sena-Norte Europa: eslabón central del enlace Sena-Escaut*

N. Bour

*Proyecto prioritario número 30 de las redes de transporte europeos, el enlace Sena-Escaut permitirá establecer, hacia el horizonte 2014, la conexión de la cuenca del Sena hasta el Rin y el Danubio, vía la red fluvial Norte Europea. Este enlace es determinante para el desarrollo de la red fluvial europea de gran galibo y permitirá propiciar la expansión de la navegación fluvial no sólo hacia Europa del Norte sino también hacia Europa central y oriental hasta el mar Negro.*

*El proyecto Sena-Escaut implica más directamente a Francia, las regiones flamenca y valona de Bélgica, así como Holanda. Con una distancia de 106 km entre Compiègne y la región de Douai, el canal Sena-Norte Europa, que se refiere en particularidad a los territorios franceses, se inscribe en pleno centro del proyecto de enlace Seine-Escaut del cual constituye el eslabón central.*

Située au cœur d'une Europe qui se rééquilibre autour de ses nouveaux États membres sur sa partie Est, la France doit faciliter le développement des échanges sur son territoire à partir de grands corridors appelés à le structurer. Dans le même temps, le commerce avec les autres parties du monde s'accélère via les ports nécessitant de renforcer leurs capacités et les infrastructures les reliant. De plus, le transport de voyageurs et de marchandises à l'échelon local demeure prédominant, surtout à l'échelle d'un pays comme la France.

# 60 infrastructures pour durable des territoires

## ■ Une volonté politique à traduire dans les actes

La doctrine de l'État dans ce domaine a été précisée par le Président de la République le 26 juin 2007 lors de l'inauguration du Satellite n°3 Roissy Charles-de-Gaulle :

« Les grandes infrastructures de notre pays, c'est-à-dire ces chantiers à plusieurs milliards d'euros, sont des choix qui engagent notre pays pour 50 ans, quand ce n'est pas pour un siècle ou pour deux siècles. S'il y a un choix gouvernemental qui doit se faire en pensant à nos enfants, nos petits-enfants, nos arrière-petits-enfants, c'est celui des grandes infrastructures d'aménagement de notre pays. Il doit plus que tout autre se fixer l'objectif du développement durable [...].

Cette approche du développement durable doit s'étendre à l'ensemble de nos projets d'infrastructures. La France doit investir. Si la France, avec les handicaps que l'on connaît, a la productivité horaire la plus élevée du monde, c'est grâce à ce patrimoine productif extraordinaire que sont nos lignes à grande vitesse, notre réseau routier, nos aéroports [...].

Les infrastructures. Nos prédécesseurs nous les ont léguées, il est de notre devoir de les améliorer, de les entretenir, de les remplacer, de les développer. Et ce n'est pas une honte de s'endetter pour cela, car cette dette-là, finance les infrastructures, ne finance pas le présent, elle finance l'avenir. »

Les projets annoncés au plan européen avec les RTE, ceux décidés lors des différents CIADT ou CIIACT ne seraient-ils que des effets d'annonces ? Les infrastructures de transport sont une des composantes per-

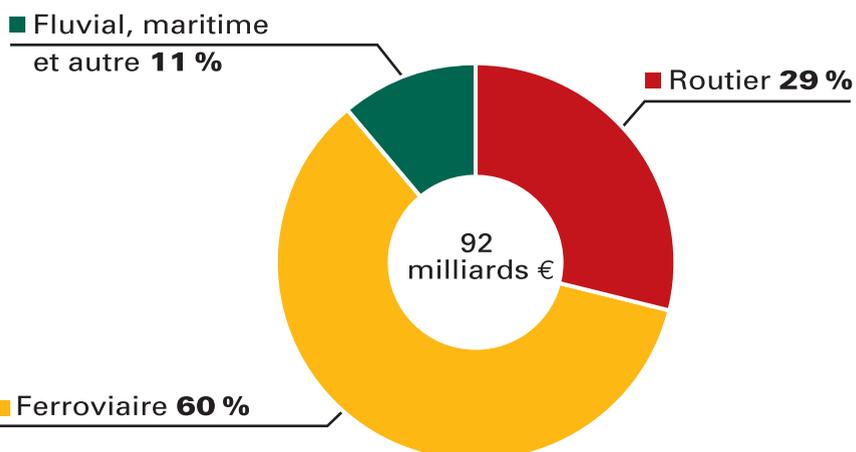
mettant de renforcer l'attractivité et la compétitivité de nos territoires. Aussi, parmi les différents projets, certains doivent être lancés de façon prioritaire : tous ont fait l'objet d'une décision nationale consacrant leur importance, tous s'inscrivent dans une logique de développement durable.

À la suite du Grenelle de l'environnement la France doit se doter, au travers d'une loi de programmation, des moyens législatifs et financiers pour lancer les projets d'infrastructures qui ont été décidés depuis plusieurs années.

## ■ 92 milliards d'euros d'investissements au cours des vingt prochaines années

Cette soixantaine de projets d'infrastructures dans tous les modes de transport représente un investissement de 92 milliards d'euros à lancer au cours des vingt prochaines années. Ceci revient à mobiliser **4,6 milliards d'euros par an** via des investissements publics, pour l'essentiel, mais aussi au travers de financements innovants.

En fonction des modes et dans une optique de rééquilibrage, les besoins de financement vont principalement vers les infrastructures ferroviaires avec les lignes à grande vitesse, les aménagements de capacité et les contournements avec 55 milliards d'euros. La poursuite des dessertes autoroutières et la réalisation de plusieurs contournements d'agglomérations nécessitent plus de 26 milliards d'euros. Enfin, les autres équipements principalement portuaires et fluviaux représentent un investissement de 10 milliards d'euros.



# accompagner la croissance



**Nicolas Leleu**  
Directeur des Affaires  
économiques  
FNTF

## ■ Relier le réseau de LGV aux grandes métropoles et à l'Europe

Le développement du réseau de LGV favorisera l'accès à la grande vitesse grâce à une meilleure couverture des territoires en les rapprochant. Chaque nouvelle ligne mise en service transforme les villes desservies et dynamise les économies locales, souvent au-delà de ce que l'on pouvait prévoir, comme en témoigne le succès rencontré par la LGV Est.

Le réseau actuel à grande vitesse et celui qui sera prochainement mis en service représentent plus de 2000 km. Ils desserviront 37% de la population à moins d'une demi-heure des gares et 70% à moins d'une heure. En termes d'accessibilité, l'ensemble de ce réseau couvrira 11% des territoires à moins d'une demi-heure et 39% à moins d'une heure.

Avec les différents projets cités à l'issue du Grenelle de l'environnement qui reprenait ceux décidés lors des CIADT et CIACT précédents, le réseau à grande vitesse doublera pour atteindre près de 4100 km.

Dès lors l'accessibilité à ce réseau progresse nettement. Presque la moitié de la population française, soit 48%, sera à moins d'une demi-heure des gares, une proportion qui atteint 88% à moins d'une heure. Pour les territoires, leur desserte à moins d'une demi-heure s'accroît modérément passant de 11 à 16%. À moins d'une heure, la couverture s'étend significativement, puisqu'elle est portée de 39 à 58%.

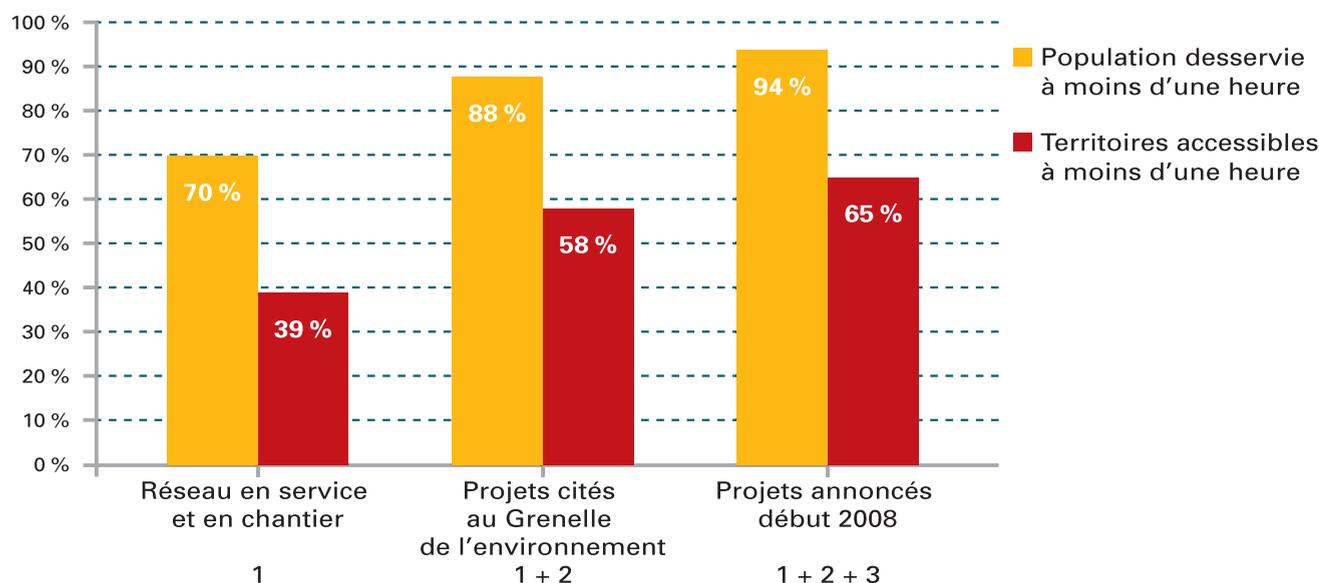
Au total près de 30 milliards euros d'investissements seront nécessaires pour permettre à près de 9 français sur 10 d'être à moins d'une heure d'une gare desservie par le réseau de LGV et couvrir près de 60% des territoires. Avec la ligne Lyon-Turin, ce montant dépasse 41 milliards d'euros, soit 44% des investissements à lancer au cours des 20 prochaines années.

Les annonces visant à renforcer le maillage du réseau qui ont été faites début 2008 feraient que presque toute la population française (94%) et les deux tiers du territoire (65%) seraient à moins d'une heure d'une gare sur le réseau de LGV.

## ■ Accompagner le développement des corridors de fret

Le transport des marchandises évolue pratiquement au même rythme que celui de la croissance économique. Même si cette dernière manque de dynamisme, son cumul sur 10, 15 ou 20 ans donne une indication de ce que les infrastructures, quel que soit leur mode, devront transporter.

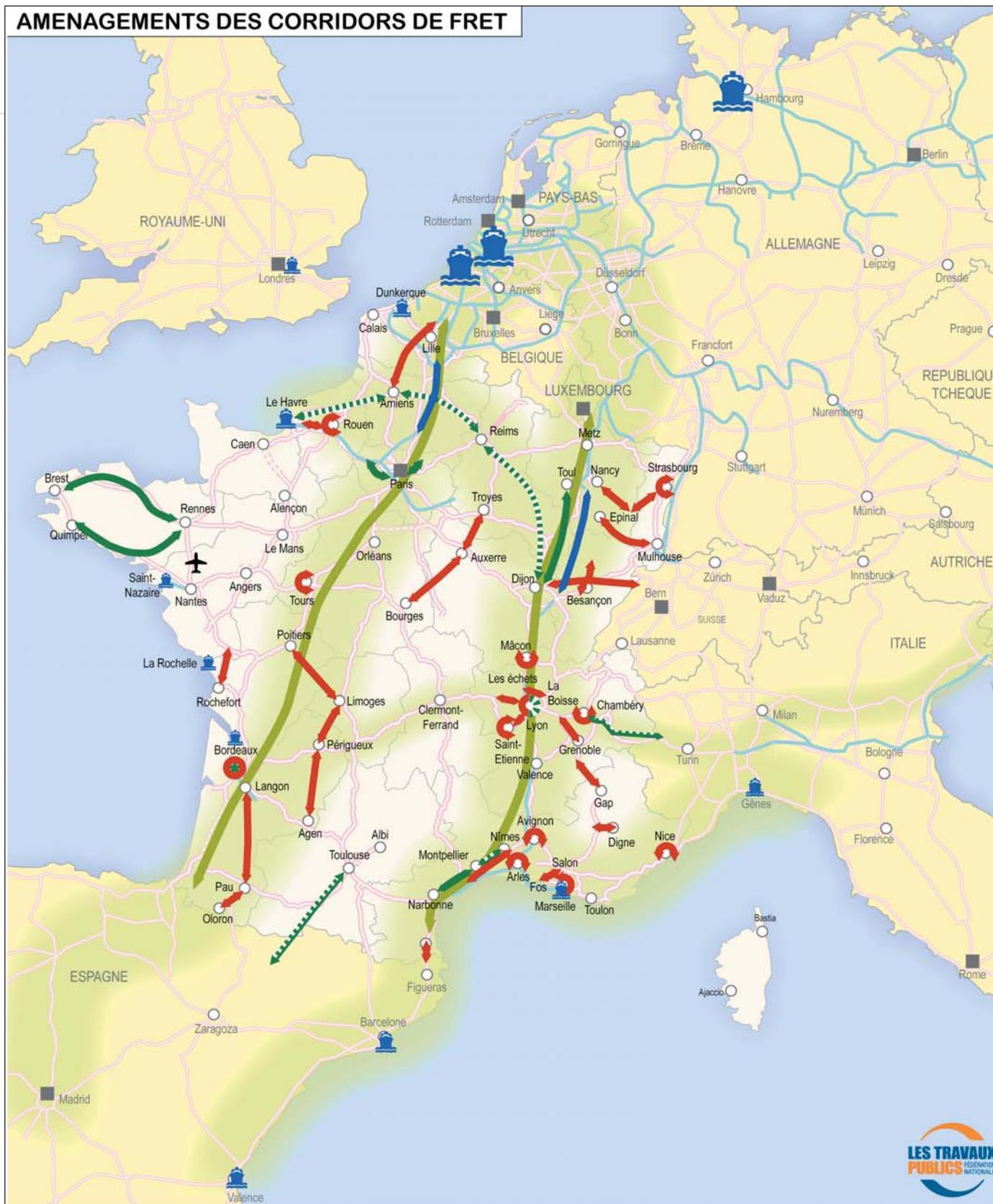
- Avec une **hypothèse très pessimiste** d'une croissance annuelle de seulement 1,5% par an, le fret aurait déjà augmenté de 25% en 15 ans et de 35% en 20 ans.
- En retenant la **croissance moyenne pour la France** depuis plusieurs dizaines d'années, soit 2% par an, le fret progresserait de 35%, non plus en 20 ans mais en 15 ans, et il aurait augmenté de moitié en deux décennies.



## 60 infrastructures pour accompagner la croissance durable des territoires



# AMENAGEMENTS DES CORRIDORS DE FRET



## Accompagner le développement de corridors de fret

- corridor fret
- Développer le fret ferroviaire :
  - autoroute ferroviaire
  - aménagement fret ferroviaire

- Développer le réseau fluvial :
  - réseau fluvial à grand gabarit existant
  - projet fluvial
  - interconnexion maritime / fluvial

- Développer le réseau routier :
  - réseau routier existant ou en chantier
  - liaison routière
  - contournement urbain

## Améliorer les liaisons interrégionales et internationales

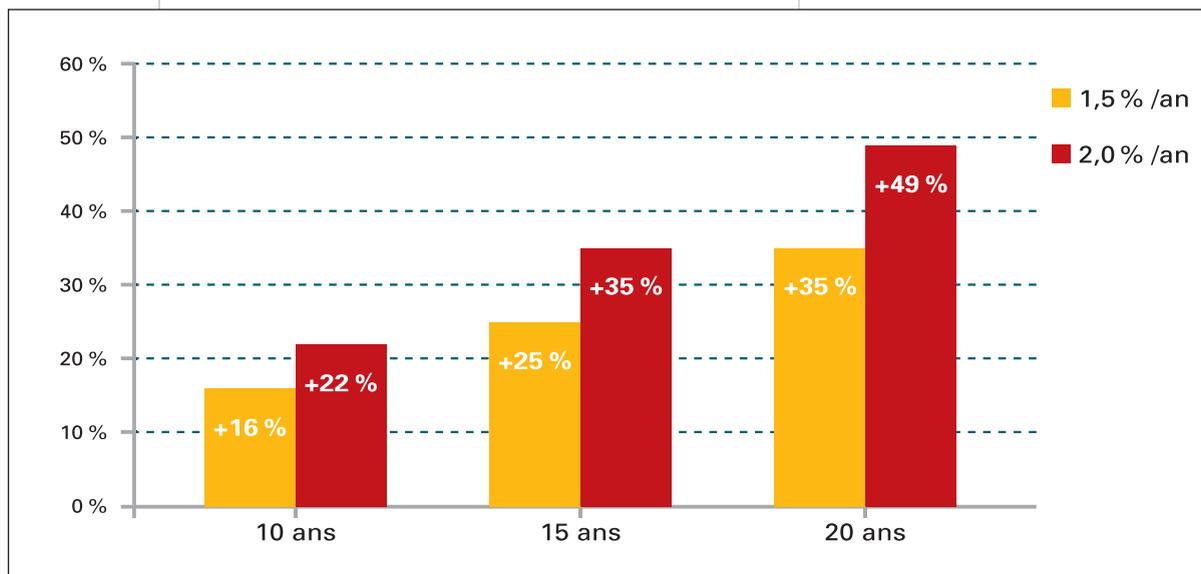
- amélioration du réseau ferré
- projet d'aéroport

0 100 km

© FNTP - mars 2008

## 60 infrastructures pour accompagner la croissance durable des territoires

- Si la France atteignait durablement une **croissance comparable à celle des États-Unis**, variant entre 2,5 et 3 % par an, le fret aurait pris 50 % en à peine 15 ans...



### Pour un pacte national des infrastructures de transports de France

L'industrie française des Travaux Publics a présenté dans un Livre blanc en mai 2007, ses propositions pour un Pacte national des infrastructures de transport : propositions reprises et complétées lors de l'Atelier « Transports et déplacements » du Grenelle de l'Environnement. La FNTP prolonge aujourd'hui cette réflexion en proposant une méthode et en suggérant des moyens pour passer à l'acte.

#### Un Pacte national des infrastructures de transport : pour décider démocratiquement de la programmation des infrastructures prioritaires à l'échelle nationale.

- Engager la représentation nationale, comme en Allemagne ou en Grande-Bretagne, sur les priorités de l'investissement public : sur des projets stratégiques, qui impactent durablement l'investissement public, il est légitime de faire valider par le Parlement un programme, pluriannuel, évalué annuellement et révisable tous les cinq ans.
- Un engagement d'autant plus nécessaire qu'il y a débat et nécessité d'arbitrer au grand jour entre les différentes composantes du développement durable.

#### Réduire les délais de réalisation des projets prioritaires

Le désenclavement des banlieues en est une illustration cruelle : le passage à l'acte en matière d'infrastructures est de plus en plus long et cet allongement des délais est de plus en plus mal supporté par les populations concernées. Or il n'y a pas de fatalité comme le montre l'exemple allemand d'accélération des procédures qui

pourrait être transposée en France pour la réalisation des infrastructures prioritaires.

#### Assurer un financement pérenne des infrastructures

Quels types de financements peuvent être affectés aux infrastructures ? Ils sont de quatre types :

1. Des financements budgétaires liés à des ressources affectées
2. Des financements via des partenariats public-privé
3. Des financements drainant de l'épargne longue
4. Des fonds mutualisés

Quelles pistes nouvelles peut-on creuser en repartant des quatre types de financement ?

1. Une augmentation de la part des taxes aujourd'hui affectées à l'AFITF, à laquelle s'ajoutera la taxe poids lourds.
2. Les PPP, tout en ayant conscience qu'ils ne joueront qu'un rôle complémentaire (cf. l'exemple anglais où les PFI ne représentent que 10% de l'investissement en infrastructures de transport).
3. Une partie de l'encours du livret développement durable (aujourd'hui proche de 60 milliards d'euros).
4. L'affectation d'un pourcentage des participations de l'État dans des entreprises cotées sur un fond placé, en utilisant les revenus issus de ce placement pour financer la construction d'infrastructures.

Source : FNTP

10, 15 ou 20 ans, c'est aussi l'échelle de mesure (minimale) pour une infrastructure de transport entre la décision de la lancer et sa mise en service. Sans anticipation et sans volonté politique, une infrastructure est très vite inadaptée en capacité et en qualité de service.

C'est ainsi, par exemple, que 50% des conteneurs à destination de la France transitent par un port étranger. Sur ce segment d'activité, la croissance des ports français n'atteint que 5,8% par an, contre 9% par an en moyenne pour les autres ports européens. Une meilleure exploitation des infrastructures portuaires, comme de celles ferroviaires favorisera un report modal. Toutefois des progrès ne doivent pas faire oublier que les réseaux d'infrastructures devront supporter un trafic croissant.

À côté des 30 milliards d'euros à consacrer au réseau de LGV pour les voyageurs, plus de **62 milliards d'euros** devront être affectés aux infrastructures dédiées au fret ou mixtes :

- Le développement du réseau de LGV permettra à terme de libérer sur le réseau classique des sillons pour le **fret ferroviaire**, voire de dédier des axes à celui-ci.
- Dans le **domaine fluvial**, la France se trouve isolée du réseau européen à grand gabarit, alors que la Seine et le Rhône disposent de très importantes capacités avant d'être saturés.
- Enfin, dans une optique de développement durable, des projets routiers devront être menés, en particulier vers les territoires les moins bien desservis et vers les agglomérations pour dévier, via des contournements, le trafic en transit. ■

## ABSTRACT

### 60 infrastructure projects to support sustainable regional growth

N. Leleu

*Situated in the heart of a Europe which is finding a new balance around its new Member States to the east, France must facilitate the expansion of trade on its territory based on major corridors which will redefine its structure. At the same time, trade with other regions of the world is gathering pace via the ports, so that port capacity and the capacity of port linking infrastructure must be increased. Moreover, local passenger and goods transport remains predominant, especially on the scale of a country such as France.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### 60 Infraestructuras para acompañar el crecimiento sostenible de los territorios

N. Leleu

*Ubicada en pleno centro de una Europa que se está reequilibrando en torno a sus nuevos Estados miembros en su parte Este, Francia debe facilitar el desarrollo de los intercambios en su territorio a partir de grandes corredores que están llamados a estructurarlo. Al mismo tiempo, el comercio con las demás partes del mundo se acelera vía los puertos lo que precisa reforzar sus capacidades y las infraestructuras que permiten su comunicación. Además, el transporte de viajeros y de mercancías a nivel local sigue siendo predominante, y sobre todo a escala de un país como Francia.*



# Mise en site propre dans le secteur de

**L'ouverture de la 2<sup>e</sup> ligne de tramway de Saint-Étienne à l'été 2006 et la mise en œuvre d'un projet architectural « Cité du Design » ont été accompagnés par la mise en site propre d'un tronçon d'environ 550 m de tramway existant dans le secteur de la place Carnot. Cette opération, nécessitant l'arrêt du service commercial de la ligne, devait se réaliser dans un délai très contraint de 3 mois maximum pendant l'été 2006.**

**Sur la totalité du linéaire, le choix s'est porté sur la mise en place de modules préfabriqués intégrant la voie ferrée et autorisant des cadences de pose élevées. Malgré d'importants aléas de chantier, la date de remise en service a ainsi été respectée.**

**Ce chantier, exceptionnel tant par la technologie employée que par ses impératifs de calendrier, a nécessité une implication forte de tous ses acteurs afin de satisfaire aux objectifs de maîtrise des délais, des coûts et de la qualité technique.**

**H**istoriquement, Saint-Étienne a une ligne de tramway depuis 1882, ce qui en fait la plus ancienne ligne de France. À son apogée, le réseau de Saint-Étienne totalisait 90 km. La ligne 4, seule survivante de ce réseau, traverse la ville du nord au sud.

Aujourd'hui, l'organisation de la ville, l'importance prise par la voiture dans les déplacements urbains ainsi que la densité de population en ville nécessitent de repenser les répartitions des voiries et leur organisation. Ainsi, l'ouverture de la 2<sup>e</sup> ligne de tramway de Saint-Étienne à l'été 2006 a été accompagnée d'une

rénovation et d'une requalification d'un tronçon de tramway sur la ligne existante dans le secteur de la place Carnot (mise en site propre).

## ■ Genèse du besoin

### Objectifs

Compte tenu des modifications de comportement et des évolutions dans les modes de déplacements, la voiture tend à prendre une place toujours plus importante dans nos villes. La congestion du centre-ville en est la conséquence. Il est donc nécessaire de garder une attractivité forte des systèmes de transports en commun afin qu'ils restent compétitifs en termes de déplacements par rapport à d'autres modes de transport et notamment la voiture. Cela permet aussi de contribuer à la réduction des nuisances ressenties par les riverains et de la pollution en centre-ville.

Pour atteindre ce but, il est nécessaire d'améliorer la vitesse commerciale du tramway sur l'ensemble de son parcours.

La mise en site propre de lignes de transport en commun répond à cette attente. Elle doit être accompagnée de la priorité accordée aux véhicules de transport en commun aux traversées de carrefours.

### *Favoriser le transport en commun*

En accord avec la ville de Saint-Étienne, le maître d'ouvrage Saint-Étienne Métropole a décidé d'agir sur un secteur de la ligne tramway resté en site banalisé qui acceptait les circulations routières sur une même plate-forme.

Le secteur de la place Carnot fait partie des axes fortement empruntés par les automobilistes pour sortir ou entrer dans la ville. Par conséquent, il était très souvent congestionné. Ainsi, le tramway pouvait se retrouver bloqué dans la circulation (photo 1), rendant vains tous les efforts d'amélioration de la vitesse commerciale et des temps de parcours sur le reste du réseau. L'objectif de l'opération était donc de modifier et rénover la plate-forme et de réorganiser la voirie pour permettre la circulation du tramway sur un site propre totalement dédié à la circulation des tramways et ponctuellement à la circulation d'autobus.

Par ailleurs, le secteur en question fait l'objet d'une refonte urbaine dans le cadre de la mise en œuvre d'un projet architectural liée à l'ancienne Manufacture d'Armes appelé « Cité du Design ». La rénovation du tramway sur ce secteur devait donc permettre de préserver les aménagements futurs pour une mise en cohérence d'ensemble avec les projets de cette Cité ou encore de mail piéton sur la rue Borie (organisation des arrêts, intégration architecturale...).

Photo 1

Rue Bergson : tramway bloqué dans la circulation avant les travaux

Bergson Street : tramway blocked in the flow before the works



# du tramway de Saint-Étienne la place Carnot



**Antoine Raynaud**  
Responsable du pôle  
« Transport  
et Aménagement  
urbain »  
Setec TPI



**Éric Sallez**  
Responsable  
du département  
« Équipements  
ferroviaires »  
Setec TPI



**Bob Timmerman**  
Responsable du chantier  
Setec TPI

## Le projet (figure 1)

Trois zones étaient identifiées pour cette opération, longue de 550 m, située rue Bergson :

- **zone 1** : cette section concerne le carrefour entre la rue Bergson et le boulevard Augustin Thierry en continuité du boulevard Jules Janin. Ce carrefour constitue la zone de raccordement sud des voies tramway sur le réseau existant. Le carrefour reconstitué après les travaux de voies pour la mise en site propre du tramway permet le maintien de la priorité au tramway tout en assurant l'écoulement de la circulation routière du transit perpendiculaire porté par les boulevards Augustin Thierry et Jules Janin. Les travaux seront réalisés de manière à limiter autant que possible la fermeture du boulevard urbain;
- **zone 2** : cette section concerne la mise en site propre du tramway place Carnot. Elle comprend la réfection de l'actuelle station « Carnot ». Elle comprend également la création ultérieure d'une voie traversant entre la rue Ampère et la rue Clovis Hugues. La configuration retenue du site propre permet l'inscription à l'ouest d'une file de circulation routière dans la direction nord-sud. La place Sadi Carnot, contiguë au site propre tramway, devrait être réaménagée ultérieurement par la ville de Saint-Étienne;
- **zone 3** : cette section concerne l'aménagement du site propre tramway entre la place Carnot et la rue Lebon côté Est de la rue Bergson. De même que pour la zone 2, la configuration retenue permet l'inscription à l'ouest d'une file de circulation routière entre la rue Borie et la rue Clovis Hugues (sens nord→sud) et entre la rue Borie et la rue Lebon (sens sud→nord). Elle comprend également le déplacement d'une centaine de mètres vers le Sud de la station « Manufacture » qui sera désormais dénommée « Cité du Design » et positionnée, en quais décalés, au niveau du débouché de la rue Borie. Le carrefour Bergson-Lebon sera réaménagé afin de

conserver la priorité tramway. Le réaménagement côté Est de la rue Bergson implique un traitement acoustique et vibratoire particulier des voies tramway au droit des immeubles n° 14 et n° 16 de la rue Bergson et n° 1 de la rue Ampère.

## Un planning fortement contraint

La gestion des déplacements de la ville de Saint-Étienne est très dépendante de son tramway qui draine plus de 40000 passagers par jour. Une interruption de service est toujours fortement préjudiciable au réseau de transport en commun et à la fluidité des circulations en ville. Elle peut entraîner une perte de clientèle qui s'orientera vers d'autres modes de déplacement.

Or, des travaux sur le secteur de la place Carnot nécessitaient l'arrêt de service de la ligne, en raison de la situation géographique de l'atelier dépôt tramway des « Grands Mâts » qui se trouve en extrémité de ligne, au-delà de ce secteur.

C'est pourquoi la volonté de Saint-Étienne Métropole a été de réaliser les travaux pendant la période de congés scolaires d'été, sur une période d'arrêt d'exploitation maximale de 3 mois de début juin à fin août 2006. Cette période des congés scolaires d'été est généralement favorable à la réalisation de travaux car les trafics routiers et les flux de voyageurs dans les transports en commun sont moins élevés.

L'impératif était donc de remettre en service la ligne de tramway au 1<sup>er</sup> septembre 2006 en phase, d'une part avec la rentrée scolaire mais également avec les essais et la mise en service de la deuxième ligne de tramway de l'agglomération stéphanoise qui nécessitaient de faire passer des rames d'essai pour la deuxième ligne à partir de mi-août.

Enfin, comme pour tous travaux en centre-ville, l'objectif était de les réaliser en limitant les gênes occasionnées aux riverains et aux commerçants que ce soit en termes d'accès routiers, d'accès piétons et de nuisances sonores.

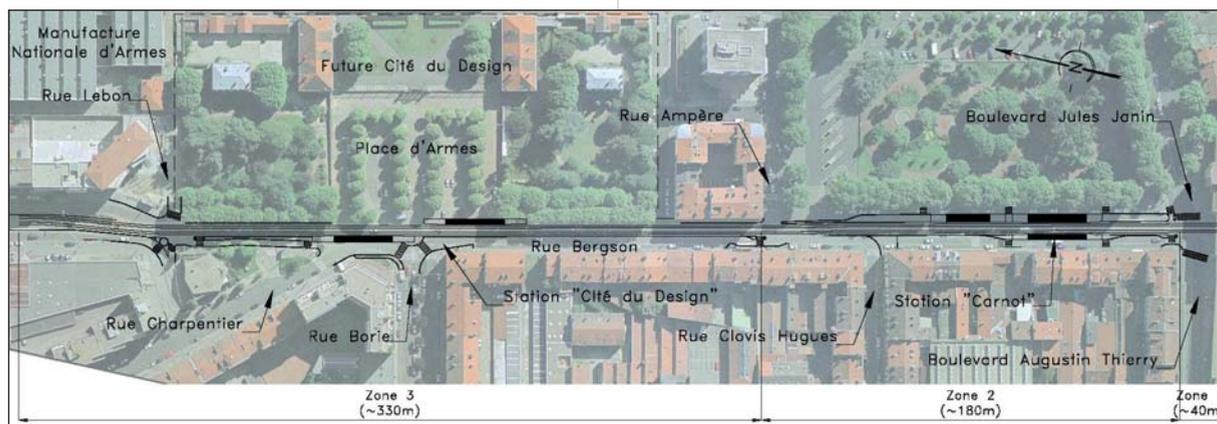


Figure 1

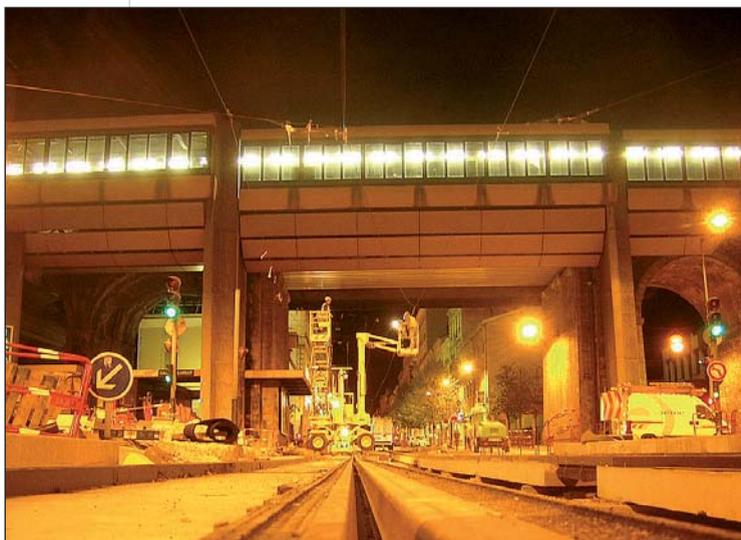
Synoptique de la rue Bergson réaménagée  
Block diagram of rehabilitated Bergson Street

### Mise en site propre du tramway de Saint-Étienne dans le secteur de la place Carnot

Photo 2

Travaux de nuit pour les réglages fins de la LAC

*Night work for precision adjustment of the overhead contact line*



#### Étendue et limites des travaux

L'étendue des travaux de mise en site propre consistait à réaliser la plate-forme tramway avec le renouvellement des éléments de voie (rails, traverses, organes de détection des tramways...) et de la ligne aérienne de contact. C'est dans ce cadre et afin de ne pas augmenter tout à la fois la durée des travaux et le coût des aménagements, que Saint-Étienne Métropole a décidé de réaliser cette opération.

Même si les études à mener devaient intégrer le traitement de façade à façade, les travaux quant à eux devaient se limiter au traitement du site propre tramway et à la ligne aérienne de contact d'alimentation électrique du tramway. L'alimentation électrique devait, en conséquence, être déplacée afin d'être compatible avec la nouvelle position de la voie tramway. Par ailleurs, les travaux engagés devaient permettre le raccordement futur à la sous-station de la rue Lebon, en remplacement de la sous-station de la rue Bergson, pour alimenter à terme les lignes aériennes de contact d'alimentation électrique du tramway sur ce secteur.

Enfin, les réseaux des divers concessionnaires, situés sous plate-forme tramway, devaient être identifiés et déviés afin de les rendre compatibles avec la plate-forme projetée.

Le montant global de l'opération s'élève à 2,9 M€ HT (valeur 2005).

#### ■ Le choix de l'Autorité Organisatrice des Transports

L'Autorité Organisatrice des Transports urbains (Saint-Étienne Métropole) a donc décidé de procéder à un marché de maîtrise d'œuvre pour les études et le suivi de ces travaux.

C'est dans ce cadre que Setec TPI associé à la société Procobat pour la mission d'ordonnancement, de pilotage et de coordination des travaux a fait acte de candidature et transmis son offre fin août 2005.

La procédure négociée a permis de finaliser l'offre en octobre 2005 pour une notification du marché de maîtrise d'œuvre à début novembre 2005.

Les missions principales de maîtrise d'œuvre concernaient les études d'avant-projet puis de projet, la rédaction des dossiers de consultation des entreprises pour l'exécution des travaux, l'assistance pour le choix des entreprises de travaux jusqu'à la notification des marchés correspondant, la direction de l'exécution des travaux, l'ordonnancement le pilotage et la coordination des travaux, l'assistance à la réception des ouvrages et au suivi de garantie de parfait achèvement.

Deux missions complémentaires ont également été notifiées à Setec TPI qui étaient l'assistance à la communication et à l'information sur le projet, l'établissement du dossier d'intention, l'établissement du dossier préliminaire de sécurité et du dossier de sécurité pour la mise en exploitation du tramway.

L'implication forte du maître d'ouvrage Saint-Étienne Métropole était nécessaire pour une totale réussite du projet dans les délais impartis et permettre la prise de décision « au fil de l'eau » pour des validations et notifications rapides et régulières.

Par ailleurs, l'étude des dispositions et implantations de la voirie ainsi que les études de fonctionnement des carrefours sont restées à la charge des Services techniques de la ville de Saint-Étienne, ce qui permettait de limiter les dérives potentielles sur les validations du projet d'aménagement.

Il restait cependant plusieurs problématiques à traiter, aussi bien dans l'exécution des études que dans l'étendue et l'organisation des travaux. En effet, au stade de l'offre, le projet d'aménagement de la place d'Armes (ancienne entrée des Manufactures d'Armes), dans le contexte du projet de la Cité du Design et de sa continuité en mail piéton avec la rue Borie, n'était pas arrêté. De même, le projet d'aménagement et de circulation de la place Sadi Carnot n'était pas défini, seules quelques grandes lignes étaient esquissées comme le mail piéton d'accès à la Cité du Design ou encore un futur alignement de la rue Ampère d'un côté de la place Carnot avec la rue Clovis Hugues de l'autre.

#### ■ Les études et travaux réalisés

##### En phase études

Compte tenu des projets en cours d'aménagements de la Cité du Design mais également de la volonté de préserver l'avenir, notamment pour un futur aména-

gement de la place Carnot, nous avons proposé des dispositions permettant de conserver une voie de circulation routière le long de la rue Bergson, d'aménager les quais voyageurs place Carnot et place d'Armes. Le projet permettait également de conserver le long de la place Carnot, sur la rue Bergson, une voie de circulation des autobus urbains et départementaux, ceci du fait que la place Carnot constitue une gare routière importante en liaison avec la gare SNCF.

Parallèlement au tracé des voies, les études nous ont conduits à proposer un ripage des lignes aériennes de contact (LAC) d'alimentation électrique du tramway. Cette solution validée permettait ainsi de s'affranchir d'un délai plus important de mise en œuvre de la LAC qui aurait, là aussi, pesé sur l'objectif de mise en service du tramway au 1<sup>er</sup> septembre 2006.

Enfin, compte tenu du fait que les emprises existantes et les emprises projetées du site propre tramway étaient en recouvrement sur au moins une des voies, il ne nous était pas possible de démarrer les travaux avant l'arrêt total d'exploitation du tramway qui a été effectif en dernière semaine du mois de mai 2006.

Afin de garantir le délai des travaux, mais également réduire les nuisances auprès des riverains et dans l'organisation des circulations routières, nous avons été amenés à proposer à Saint-Étienne Métropole la mise en place de modules préfabriqués intégrant la voie ferrée sur la totalité du linéaire, soit 550 m. Or, les aménagements de la rue Borie, de la Place d'Armes et de la place Carnot, notamment pour le positionnement du quai tramway-bus, n'étaient pas totalement arrêtés, amenant un grand nombre de mises au point pour aboutir au projet final.

L'appel d'offres travaux a désigné les groupements d'entreprises Cegelec - ETDE - Eget, titulaire du marché de travaux de lignes aériennes de contact et d'électrification, et le groupement d'entreprises Colas - Secorail associé au fournisseur des modules Prefarail titulaire du marché de travaux de pose de voie ferrée et de voirie.

### Déviations de réseaux

Les travaux de déviation des réseaux par les différents concessionnaires ont démarré en avril 2006 pour se terminer à fin juin 2006. Cependant, étant donné la vétusté du réseau d'eau pluviale rencontré, et plus particulièrement l'ouvrage maçonné le long de la rue Bergson, l'avancement du chantier a subi de nombreux aléas tant sur l'étendue des réseaux à dévier (réseaux mal répertoriés, ou mal positionnés sur les plans, etc.) que sur la durée des travaux engagés par les concessionnaires. Ces aléas ont nécessité la modification de phasage des travaux pour ne pas décaler la date de remise en circulation du tramway. C'est ainsi que les



**Photo 3**  
Voie existante en cours de démontage  
Sector during dismantling of the existing track

travaux de remise en état du réseau d'eau pluviale ne se sont terminés qu'une semaine avant la date butoir de remise en service du tramway !

### Ripage des lignes aériennes de contact

Cette opération a d'abord consisté à faire un premier ripage des lignes aériennes de contact pour permettre aux engins de travaux d'opérer sans trop de contraintes et sans déposer des lignes. Cette opération était donc provisoire.

En parallèle, il a été réalisé la mise en place de mâts support nécessaires au remplacement de mâts ou d'ancrages en façade de bâtiments non adaptés au projet. Le réglage fin des lignes aériennes de contact a été effectué une fois la totalité de la voie définitivement réglée (photo 2).

### Démontage de la voie existante et terrassements

Les 550 m de voie double qui étaient en grande partie sur traverses bois ont été déposés en parallèle des travaux de déviation des réseaux et des travaux de ripage des lignes aériennes de contact (photo 3). Ces travaux initialement prévus en continuité de chantier ont dû être morcelés pour tenir compte des contraintes inhérentes aux opérations de déviation des réseaux et aux événements imprévisibles, du fait principalement de la vétusté du collecteur des eaux pluviales datant de l'époque napoléonienne et qui, en dehors d'un entretien rigoureux, n'avait fait l'objet d'aucun renforcement ou modification malgré le passage quotidien du tramway depuis sa mise en service.

Pour récupérer une plate-forme ayant les portances compatibles avec les systèmes modernes, la plate-

## Mise en site propre du tramway de Saint-Étienne dans le secteur de la place Carnot

Photo 4

Plate-forme finalisée  
(avec couche de forme  
et béton de propreté)  
*Finalised formation level  
(with capping layer  
and blinding concrete)*



Photo 6

Modules préfabriqués  
posés et soudés  
*Prefabricated modules  
laid and welded*



forme a été purgée en partie pour réaliser une couche de forme nouvelle avec un béton de propreté qui réponde aux standards de portance pour des applications ferroviaires de type tramway (photo 4).

En phase d'exécution des terrassements, plusieurs événements ont imposé des arrêts de chantier. On peut citer, à titre anecdotique, l'arrêt de chantier occasionné par la disparition d'un « bouchon » en clé de voûte de l'ouvrage maçonné mentionné ci-avant qui, lors des terrassements, a créé très localement – mais avec un certain émoi – un affaissement de terrain.

Un autre événement fort préjudiciable au déroulement des travaux a été la découverte de l'affleurement du collecteur maçonné au carrefour des boulevards Jules Janin et Augustin Thierry avec la rue Bergson. Cette découverte tardive, préjudiciable à la poursuite des travaux de terrassements pour la pose de voie, a amené le concessionnaire du réseau à remplacer l'ouvrage maçonné par un ouvrage béton (photo 5). Ce rempla-



Photo 5

Nouveau réseau d'eaux pluviales implanté  
sous les voies tramways  
*New rainwater network located under  
the tramway tracks*

cement effectué dans des délais très courts, n'a pas eu d'impact sur l'objectif final du projet.

### ■ Choix technologique des dalles préfabriquées

La proposition du maître d'œuvre pour répondre aux besoins et respecter les délais imposés par Saint-Étienne Métropole s'est portée vers la technique de pose de voie par modules préfabriqués.

Cette méthode est habituellement utilisée pour le franchissement de carrefour routier ou de zone qui n'autorise pas une interruption de trafic sur une longue période. À Saint-Étienne, ce concept a été adopté sur l'ensemble du linéaire (photo 6).

### Détail de mise en œuvre

#### Description des modules

La méthode consiste à réaliser, dans un entrepôt situé en banlieue stéphanoise hors de la zone de travaux, des modules de 18 m de long. Dans le même temps, les rails sont emprisonnés dans leur jaquette d'élastomère puis positionnés sur un banc de fabrication (photo 7). Ce placement doit être très précis puisqu'il garantit à la fois le respect de l'écartement des rails (pour le réseau de Saint-Étienne, l'écartement est métrique) ainsi que la géométrie en plan de la voie. En effet, les rails sont positionnés avec les courbes et clothoïdes du tracé en plan directement sur le banc de préfabrication. Par contre, malgré le ferrailage et le béton, les modules préfabriqués gardent une certaine flexibilité



Photo 7

Banc de préfabrication des modules  
*Module prefabrication bench*

verticale qui leur permet de s'adapter aux variations légères du profil en long telles qu'elles peuvent exister dans le cadre d'une voie de tramway.

### **Piquetage**

En phase d'exécution des travaux, l'entreprise a réalisé un plan repérant chacun des modules ainsi que les spécificités de chacun. Chaque module particulier (en courbe, en clothoïde, longueur non standard...) est donc repéré et réalisé avec la plus grande attention. Avant même la fin de la confection de la plate-forme, tous les modules préfabriqués sont réalisés, repérés et prêts à être installés sur site.

### **Positionnement des modules**

La réalisation de la plate-forme qui doit accueillir les voies est menée parallèlement à la fabrication des modules. Des poutres de calage sont ensuite positionnées sur la plate-forme afin de recevoir les modules préfabriqués. Cette opération se fait à l'aide de deux camions grues qui soulèvent les modules aux deux extrémités (photos 8 et 9). Les traverses sont espacées d'environ 5 m et le réglage fin est effectué grâce à des cales et au moyen de coussins hydrauliques qui permettent de soulever les modules une fois posés. À la fin de l'opération, l'ensemble des modules est positionné et calé suivant le profil en long prévu par les études. Les dalles et rails associés étant maintenant réglés, les opérations de soudage de rail par procédé aluminothermique sont réalisées comme pour tout autre procédé classique de pose de voie. Enfin, après soudure, les opérations de meulage des soudures achèvent la continuité parfaite du profil de rail (photo 10).



Photo 8

Pose des modules préfabriqués  
*Prefabricated module installation work*



Photo 9

Pose d'un module en cours, sur ses poutres de calage  
*Module during installation on its bracing beams*



Photo 10

Soudures de raccordement de deux modules  
*Welds connecting two modules*

## Mise en site propre du tramway de Saint-Étienne dans le secteur de la place Carnot



Photo 11  
Station « Carnot »  
Carnot Station



Photo 12  
Le côté nord de la place  
Carnot en site propre  
North of Place Carnot  
in reserved right-of-way



### **Figurer la voie**

La dernière opération, consistant à « pérenniser » l'infrastructure, se fait en deux temps.

Dans un premier temps, un béton de calage très fluide est coulé afin de bien englober les modules et de ne pas laisser de vide dessous. Ce béton est coulé pour dépasser le bas des modules.

Dans un second temps, un béton de remplissage est coulé pour permettre d'atteindre le niveau de finition souhaité et ménager l'espace nécessaire pour le revêtement de la voie : béton bitumineux, dallage, pavés... seul l'engazonnement est difficile à mettre en œuvre avec ce type de procédé.

Avec ce procédé, il est également envisageable de fabriquer les dalles préfabriquées avec finitions intégrées (pavage par exemple), ce qui permet une contraction globale du planning des travaux.

Pour le projet de Saint-Étienne et compte tenu du revêtement choisi (béton bitumineux), cette opération de finition a été réalisée en dernier lieu de manière à avoir une uniformité de traitement de la plate-forme.



Photo 13  
Station de la « Cité du Design »  
(en attente des aménagements définitifs)  
"Cité du Design" Station (pending final improvements)

### **Pérennité de l'ouvrage et solidité**

La technique de pose utilisée sur ce projet a subi des tests auprès d'un laboratoire de génie civil pour garantir sa fiabilité et sa sûreté vis-à-vis des risques de cassure de rails et de déraillement. Cette technique a d'ailleurs été acceptée par les autorités de contrôle agréées en France où elle est couramment mise en œuvre sur des carrefours où les contraintes sont fortes.

D'autres pays de l'Union européenne l'utilisent également et elle a fait ses preuves en termes de fiabilité et de pérennité.

### **Avantages – Inconvénients**

Ce type de pose présente de nombreux avantages mais aussi des contraintes qui doivent être intégrées dans la comparaison avec les autres modes.

#### **Des points forts**

Le principal avantage est lié aux cadences de pose élevées et à la réduction des nuisances. En effet, la cadence de pose est fortement augmentée du fait que la majorité des éléments de géométrie en plan sont déjà réalisés. Une fois la plate-forme réalisée, on peut atteindre jusqu'à plus de 100 m de pose par jour. En outre, les rotations de bétonneuses sont limitées en nombre et dans le temps et permettent d'épargner un peu les riverains dans ces périodes de travaux désagréables (nuisances sonores, poussières abondantes, accès difficile aux entrées, etc.).

En outre, les opérations sur les carrefours sensibles peuvent être limitées dans le temps. Ainsi, à Saint-Étienne,

ces derniers ont été fermés au maximum pendant un week-end.

### **Des points faibles**

A contrario, les modifications de dernière minute peuvent poser des problèmes importants de maîtrise des coûts et des délais. Les modules étant mis en œuvre avant la fin de la plate-forme, et au début de la phase travaux, la moindre modification de tracé implique de revoir généralement quelques modules, et nécessite donc parfois une destruction puis une reconstruction. En effet, l'ensemble du complexe étant coulé dans le béton, la marge d'adaptation aux modifications de tracé en plan est quasiment nulle.

### **■ Le rôle de Setec TPI**

Setec TPI, fort de son expérience dans les projets urbains et d'infrastructures linéaires, en association avec la société Procobat, a été sélectionné pour assurer la maîtrise d'œuvre complète de l'opération. À ce titre, Setec TPI a réalisé l'ensemble des phases du projet, la mission d'OPC étant conduite par Procobat.

### **Périmètre d'études et travaux**

Setec TPI a réalisé l'ensemble des études AVP, PRO et a rédigé les DCE pour l'ensemble du projet. Il avait également pour missions la sélection des candidats, le suivi, la coordination et la gestion des travaux, avec l'aide de Procobat, ainsi que la réception des travaux et l'analyse des réclamations des entreprises.

Les études portaient sur l'ensemble des domaines techniques du projet :

- voirie : définition des portances, des matériaux et des structures de voiries;
- voie ferrée : définition du tracé, des éléments de profils en long et de vue en plan, définition des exigences pour la réalisation des modules préfabriqués, etc.;
- lignes aériennes de contact : plan de piquetage adapté au nouveau tracé, définition des prescriptions pour les matériaux et équipements à renouveler, définition des nouveaux supports, etc.;
- études de carrefour : organisation des voiries dans les carrefours, études de phasage des feux, études de priorité tramway aux carrefours, etc.;
- quais et abord : organisation des cheminements piétons, organisation des quais;
- dossier de sécurité du tramway : rédaction du dossier de définition de la sécurité, du dossier préliminaire de sécurité et constitution du dossier de sécurité pour le système du tramway sur le tronçon traité;
- réalisation des essais tramway, d'alimentation électrique et de gabarit.



### **■ Le retour d'expérience**

#### **Délais serrés**

Compte tenu du milieu urbain dans lequel se déroulait l'opération, il est maintenant acquis que la technique de pose de modules préfabriqués a permis de tenir un délai très serré malgré de nombreux aléas inhérents à ce type d'opération.

Toutefois, des opérations de rénovation de voie ou de mise en site propre nécessitent une gestion des modifications très pointue. En effet, les modifications émanant des acteurs locaux ou des architectes des projets connexes viennent influencer fortement la phase travaux ce qui n'est pas forcément compatible avec le délai d'opération très court.

#### **Co-activité**

La gestion des déviations de réseaux compte tenu, à nouveau, des délais très tendus s'est avérée compliquée et a entraîné des phases de co-activité qui n'ont pas toujours été simples à gérer. Ainsi, des désorganisations nombreuses du phasage initial sont apparues dues aux retards pris dans les opérations de déviations ou aux événements imprévisibles.

#### **Présence chantier**

Compte tenu de l'ensemble des contraintes, ce type de projet nécessite une forte activité de contrôle et même d'étude pendant la phase travaux à la fois pour réagir rapidement aux aléas de chantier mais aussi pour être capable de répondre aux nombreuses demandes de modification.

### **■ Conclusion** (photos 11, 12, 13 et 14)

Ce chantier, exceptionnel tant par la technologie employée pour la mise en site propre du tramway que par ses objectifs de calendrier, a nécessité une implication forte de tous ses acteurs.

Photo 14

Croisement de la rue Bergson et de la rue Lebon  
*Junction of Bergson Street and Lebon Street*

### Mise en site propre du tramway de Saint-Étienne dans le secteur de la place Carnot

► La date de remise en circulation du réseau a été respectée malgré toutes les difficultés exposées ci-avant.

Le professionnalisme, l'expérience et la réactivité de l'ensemble des intervenants ont permis la réussite de l'opération.

La maîtrise des délais, des coûts et de la qualité technique doivent être mises en relation, notamment, avec l'action cumulée du maître d'ouvrage Saint-Étienne Métropole, de la ville de Saint-Étienne, des différents Services techniques, des sociétés concessionnaires des réseaux, des groupements d'entreprises Cegelec - ETDE - Eget et Colas - Secorail, de Procobat et de Setec TPI, maître d'œuvre. ■

#### **ABSTRACT** *Reserved right-of-way development of the Saint-Étienne tramway in the Place Carnot sector*

A. Raynaud, E. Sallez, B. Timmerman

*The opening of the second tramway line in Saint-Étienne in the summer of 2006 and the implementation of a "Design City" architectural plan were accompanied by the reserved right-of-way development of a section of about 550 metres of tramway line existing in the Place Carnot sector. This project, requiring the shutdown of commercial service on the line, had to be carried out within a very short period of at most three months during the summer of 2006.*

*Over the entire length, it was chosen to install prefabricated modules incorporating the railway line, enabling the line to be laid at a fast pace. Despite major site contingencies, the planned date of restoration of operation was thus complied with.*

*This project, exceptional both through the technology used and its demanding time schedule, required strong involvement of all the stakeholders in order to meet the time, cost and technical quality control objectives.*

#### **RESUMEN ESPAÑOL** *Instalación propia del tranvía de Saint-Étienne en el sector de la plaza Carnot*

A. Raynaud, E. Sallez y B. Timmerman

*La apertura de la segunda línea de tranvía de Saint-Étienne durante el verano de 2006 y la puesta en aplicación de un proyecto arquitectónico "Cité du Design" fueron acompañadas por la instalación propia de un tramo de aproximadamente 550 metros de tranvía ya existente en el sector de la plaza Carnot. Esta operación, que precisa la parada del servicio comercial de la línea, tuvo que realizarse en un plazo sumamente restringido de una duración máxima de 3 meses durante el verano de 2006. En la totalidad de su longitud, se ha optado por la implementación de módulos prefabricados que integran la vía férrea y que permiten obtener elevadas cadencias de tendido. Pese a importantes imprevistos derivados de la obra, se ha podido respetar la fecha de apertura del servicio.*

*Esta obra, excepcional tanto por la tecnología empleada como por sus imperativos de calendario, ha precisado una importante implicación de todos los protagonistas con el fin de satisfacer los objetivos que permiten controlar los plazos, los costes, así como la calidad técnica.*

# Modernisation de la ligne des Carpates



**Emmanuel Robert**  
Directeur régional  
Solétanche Bachy



**Guillaume Cornali**  
Directeur travaux  
Solétanche Bachy

**Depuis 2006, Réseau Ferré de France entreprend l'électrification et la modernisation de la ligne Bourg-en-Bresse – Bellegarde pour permettre l'installation d'une ligne à grande vitesse et mettre Paris à moins de 3 heures de Genève.**

**Le génie civil du lot n° 1 de ce chantier a été confié au groupement Solétanche Bachy (mandataire) – DG Construction – Roger Martin.**

**Les travaux s'articulent autour de trois pôles : la réalisation d'une trémie pour remplacer un passage à niveau, la rénovation du tunnel de Racouze et la reconstruction du pont de la Reyssouze. Un tel projet, d'une grande variété technique et géographique, et encadré par des contraintes environnementales strictes, nécessite une organisation particulièrement adaptée.**

Le projet de placer Genève à moins de 3 heures de Paris en TGV oblige à repenser le trajet ferroviaire existant : le trajet actuel, composé de 550 km de ligne à grande vitesse entre Paris et Macon puis d'un réseau ferré classique, dure 3 h 22.

Après examen des différentes possibilités, la solution de l'électrification et la modernisation de la ligne du Haut Bugey entre Bourg-en-Bresse et Bellegarde-sur-Valserine, dite « ligne des Carpates », est apparue comme la plus viable économiquement et réalisable à brève échéance.

Pour Réseau Ferré de France, l'objectif est multiple : franchir la barrière psychologique des 3 heures entre Paris et Genève (soit un gain d'au moins 20 minutes en réduisant de 47 km le trajet initial), améliorer la desserte TGV de la vallée de l'Ain et du nord de la Haute-Savoie, réorganiser l'offre TER à l'intérieur du département de l'Ain et soulager l'ancienne ligne Bourg-en-Bresse – Ambérieu-en Bugey – Culoz de circulations TGV peu compatibles avec sa vocation d'axe international pour le fret.

Le génie civil lié à cette rénovation fait l'objet de trois marchés distincts. Fin 2006, le groupement Solétanche Bachy (mandataire) – DG Construction – Roger Martin, adjudicataire du lot n° 1, reçoit l'ordre de service de démarrer les études et les travaux.

Ce lot est un tronçon de 25 km qui va de la gare de Bourg-en-Bresse à celle de Bolozon, dans le département de l'Ain. La ligne à voie unique, qui n'est plus en activité depuis août 2005, recevait des locomotives diesels évoluant à faible vitesse. L'objet du contrat consiste à modifier les ouvrages pour permettre l'élec-

trification de la ligne et le passage du TGV, et à améliorer le tracé afin d'atteindre des vitesses comprises entre 80 et 120 km/h suivant les sections.

Ce chantier est celui de la diversité :

- diversité de sites : les travaux sont réalisés à la fois en site urbain (dans Bourg-en-Bresse) avec un espace d'installation et d'exécution très réduit, et en pleine campagne où les accès sont plus difficiles, comme à la sortie du tunnel de Racouze pour lequel un accès a été taillé à flanc de colline;
- diversité technique : la palette de travaux est très étendue et a motivé le regroupement de trois entreprises spécialisées.

Les principaux travaux à réaliser sont les suivants :

- **dépose des installations existantes** : voies et équipements ferroviaires;
- **suppression du PN5** : trémie pour passage du TGV sous la RD 1075 : 460 m de trémie de 3 à 11 m de profondeur, 6 à 7 m de large. Travaux phasés pour conserver la circulation :
  - > rideau en palplanches PN5 : 1 km de palplanches de 10 à 19 m de profondeur (sables et graviers, argile), butons vérinés,
  - > génie civil : ouvrage en U et en pont-cadre sous la RD 1075 (6000 m<sup>3</sup> béton);
- **terrassements et assainissement** : modification de tracé (avec murs cloués), abaissement de voies au droit d'ouvrages existants, dépose des voies et du ballast, création d'accès pompier. Secteur Alagnier : zone déblais-remblais, mur cloué, déviation de réseaux, assainissement, écrans acoustiques;
- **ponts** :
  - > à construire : pont de la Reyssouze à refaire, ponts cadres à créer, boviduc, passerelle des vendangeurs à déplacer,
  - > étanchéité : reprise de l'étanchéité de six ponts ou ouvrages hydrauliques;

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maitre d'ouvrage**  
Réseau Ferré de France

**Maitre d'œuvre**  
Inexia

**Entreprise mandataire**  
Solétanche Bachy

**Co-traitants**  
DG Construction, Roger Martin

## Modernisation de la ligne des Carpates

Photo 1

Terrassements des trémies.  
Soutènement palplanches  
avec butons vérinés  
*Underpass earthworks.  
Supporting structure of sheet  
piling with jacked stays*



Photo 2

Terrassements  
de la trémie ouest  
*Western underpass  
earthworks*



- **murs cloués** : confortement des murs (quatre murs) ou création du fait d'abaissement de plate-forme ou de modification de tracé (deux murs);
- **écrans acoustiques** en zone d'habitation (Bourg-en-Bresse, Saint-Just, Ceyzériat), pour un linéaire d'environ 3 600 m;
- **gares** : démolition et remise à neuf des quais des gares de Ceyzériat, Villereversure, Simandre, démolition d'anciennes halles, élargissement de la plate-forme, assainissement;
- **tunnels** :
  - > **de Sénissiat** (180 m) : niches « personnel » et caténaire, rescindement, ancrages piédroits et abaissement de la voie,
  - > **de Racouze** (1 700 m) : niches « personnel » et caténaire à créer (prédécoupage, sciage, injections, béton projeté), ancrage de piédroits pour abaisser la voie de 30 cm, rescindement de la voûte, mise en œuvre de caniveaux, exécution de 800 m de radier en zone argileuse;
- **rétablissement des passages à niveaux.**

### ■ Les mesures environnementales

L'exécution de ces travaux est soumise à des arrêtés préfectoraux extrêmement contraignants ayant pour objet la protection des captages AEP, des eaux souter-

raines, des cours d'eau et de certaines espèces animales protégées.

La trace du lot n° 1 vient en effet croiser de nombreux cours d'eau dont la Reyssouze et l'Ain. Chaque cours d'eau est soumis à un suivi défini par les autorités compétentes. En rappel voici les principales mesures imposées par l'arrêté préfectoral :

- mise en place de bacs de décantation des eaux de chantier avec déshuileur en sortie de tunnels et analyse journalière des rejets;
- pour les travaux au-dessus des cours d'eau : impossibilité de modifier le lit existant, protection du cours d'eau pour éviter toute pollution;
- contrôle périodique des cours d'eau et de points d'eau à proximité (contrôle qualitatif et quantitatif);
- rapports périodiques des travaux en zone « sensible »;
- secteur Alagnier : suivi du cours du bief à proximité des travaux et création de zones humides pour une espèce protégée, l'agrion de mercure.

### ■ La réalisation des travaux

La première étape a consisté à faire le levé des existants et déposer les installations en place. En avril 2007, les ouvrages principaux ont ensuite été lancés, à savoir :

- la suppression du passage à niveau n° 5 (PN5) dans Bourg-en-Bresse;
- le tunnel de Racouze;
- le pont de la Reyssouze.

### Suppression du PN5

Il s'agit de réaliser une trémie d'environ 500 m de longueur pour passer sous la RD 1075 et supprimer l'ancien passage à niveau avec, pour contrainte, le maintien impératif du nombre de voies de trafic puisque c'est un itinéraire très fréquenté et utilisé par les convois exceptionnels.

Les travaux doivent se réaliser dans une bande de 10 m de largeur (soit 3 m de plus que l'ouvrage à construire) avec des accès possibles depuis les passages à niveau situés à plusieurs centaines de mètres.

La solution soutènement provisoire par palplanches + « U » en béton armé a été retenue, selon le phasage suivant :

- déviation de la circulation de la RD 1075 et des réseaux de la ville de Bourg-en-Bresse;
- mise en œuvre de 1 400 t de palplanches (1 000 m) avec des profondeurs de 10 à 19 m dans des sables et graviers, et ancrage dans des argiles;
- exécution de la demi-dalle sur la zone libérée par la déviation routière, et du génie civil dans les trémies;

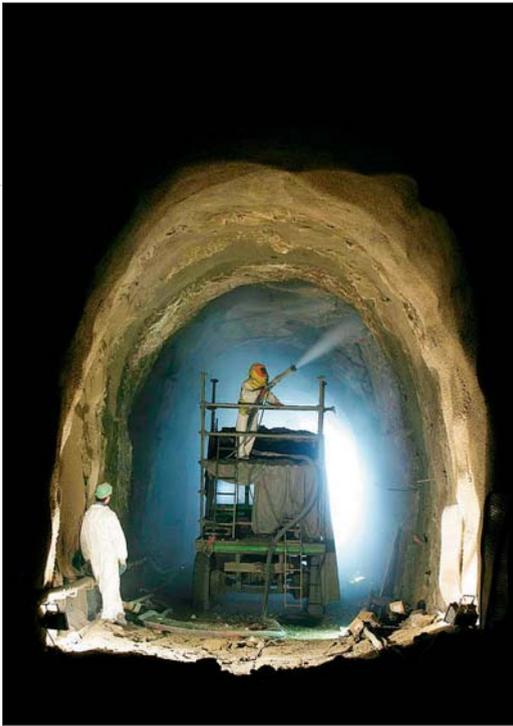


Photo 3

Réalisation du béton projeté en voûte  
*Shotcreting on the tunnel roof*

- déviation de la RD 1075 sur la demi-dalle réalisée et exécution de la seconde demi-dalle;
- remise en service de la RD 1075 dans son état initial et exécution du génie civil en taupe sous les dalles exécutées (photos 1 et 2).

Du fait de la proximité des avoisinants, et pour limiter les nuisances, la mise en œuvre des palplanches a été réalisée par vibrofonçage avec des vibreurs à haute fréquence variable. De plus, un enregistrement en continu des vibrations a permis de vérifier le non dépassement des seuils légaux.

### Le tunnel de Racouze

Le tunnel existant fait 1700 m de long et environ 4,7 m de large. Il a été creusé dans le calcaire pour la première mise en service de la voie en 1870. En l'état, il ne peut pas recevoir le TGV et son système d'électrification. Ces dimensions ont conduit à organiser les travaux par spécialité en séparant les travaux en voûte et piédroits dans un premier temps, et les travaux d'abaissement de la plate-forme dans un deuxième temps.

#### Phase 1 - Travaux en voûte et piédroits

- Réalisation de niches « personnel » tous les 50 m dans le calcaire par l'exécution de traits de scie à intervalles réguliers et la démolition par couche au Brokk. Enfin, l'utilisation de mortier expansif a été nécessaire pour les angles résiduels.
- Étanchéité de la voûte par bandes drainantes et enduits étanches.
- Mise au gabarit de la voûte par rescindements : réalisation d'un trait de scie tous les 7 cm, puis



Photo 4

Réalisation d'une niche « personnel » au Brokk (premier plan). Rescindements à la scie à l'arrière-plan

*Execution of a "personnel" recess by Brokk machine (foreground). Cutting by saw in the background*

démolition au BRH sur des épaisseurs variant de 10 à 50 cm.

- Réalisation des niches en voûte permettant la réception du système d'accroche de caténaire, par sciage, démolition au BRH puis projection de béton.
- Ancrage des piédroits tous les 2 m avant abaissement de la plate-forme.

#### Phase 2 - Abaissement de la plate-forme

- Enlèvement du ballast.
- Abaissement de la plate-forme dans le calcaire à l'aide d'une raboteuse.
- Mise en place de caniveaux en béton armé préfabriqués (ayant un rôle butonnant).
- Dans les zones argileuses, un radier en béton armé est à réaliser pour résister à la sous-pression des argiles gonflantes.

Pour des raisons de stabilité les radiers et la pose de caniveaux sont à réaliser dans un délai court après l'abaissement de la plate-forme. Toutefois ils sont gérés dans des postes de travail différents pour permettre la séparation des flux d'évacuation des déblais de ceux d'approvisionnement de fournitures comme le béton ou l'acier. Les travaux vont se poursuivre jusqu'à l'été 2008 (photos 3 et 4).

### Le pont de la Reyssouze

Cet ancien pont de pierre a déjà subi plusieurs « liftings » et ne pouvait recevoir le TGV en l'état. Aussi RFF a décidé de le démolir et de le reconstruire sans avoir à modifier le lit de la rivière qu'il enjambe. Il s'agit d'un pont à tablier à poutrelles enrobées fondé sur 28 pieux Starsol. La technique du pieu Starsol a été préférée à celle du pieu foré tubé car elle a permis de limiter les installations dans une zone très étroite (pas de centrale à boue, pompe à béton hors zone de forage...), d'annuler les risques de déversement de

## Modernisation de la ligne des Carpates



Photo 5

Exécution des fondations du pont par pieux Starsol  
Execution of bridge foundations by Starsol piles

► boue bentonitique dans la rivière et de réduire la profondeur des pieux.  
Les travaux ont été réalisés pendant la période estivale, au moment où les risques de débordement de la Reyssouze étaient faibles (photos 5 et 6).

### ■ Conclusion

Ce type de projet nécessite une organisation adaptée pour assurer la gestion d'activités réparties sur de grandes distances et une capacité à réagir lors de la découverte d'ouvrages et réseaux existants.

Les activités non abordées dans cet article (murs cloués, ponts-cadres, étanchéité, écrans acoustiques, terrassements et mise en œuvre de la sous-couche...), réparties sur les 25 km du lot, sont en cours d'exécution.

La dernière étape consistera à un réglage général de la nouvelle plate-forme une fois nos travaux terminés, et avant rétrocession des emprises au marché d'équipements ferroviaires. ■

Photo 6

Pont de la Reyssouze : pose des corniches

La Reyssouze Bridge : placing parapets



### ABSTRACT Modernisation of the Carpates line

E. Robert, G. Cornali

Since 2006, Réseau Ferré de France has been working on the electrification and modernisation of the Bourg-en-Bresse – Bellegarde line to allow the installation of a high-speed train line and put Paris less than 3 hours away from Geneva. Civil engineering for work section No. 1 of this project was entrusted to the consortium formed by Solétanche Bachy (leader), DG Construction and Roger Martin.

The works are organised around three poles : construction of an underpass to replace a level crossing, renovation of Racouze tunnel and reconstruction of La Reyssouze Bridge. Such a project, of great technical and geographic variety and having to comply with strict environmental constraints, requires a specially adapted organisation.

### RESUMEN ESPAÑOL Modernización de la línea de Los Cárpatos

E. Robert y G. Cornali

Desde el año 2006, Réseau Ferré de France esta realizando la electrificación y la modernización de la línea Bourg-en-Bresse – Bellegarde para permitir la instalación de una línea de alta velocidad y, poner en comunicación París con Ginebra en menos de 3 horas. La ingeniería civil del lote N° 1 de esta obra se ha adjudicado a la agrupación Solétanche Bachy (encargado) – DG Construction – Roger Martin.

Los trabajos se articulan en torno a tres polos : la ejecución de una rampa de acceso para sustituir un paso a nivel, la renovación del túnel de Racouze y la reconstrucción del puente sobre el río Reyssouze. Semejante proyecto, que presenta una destacada variedad técnica y geográfica, y enmarcado por diversas restricciones medioambientales estrictas, precisa una organización particularmente adaptada.

# Un écrin de verre pour la gare de Strasbourg

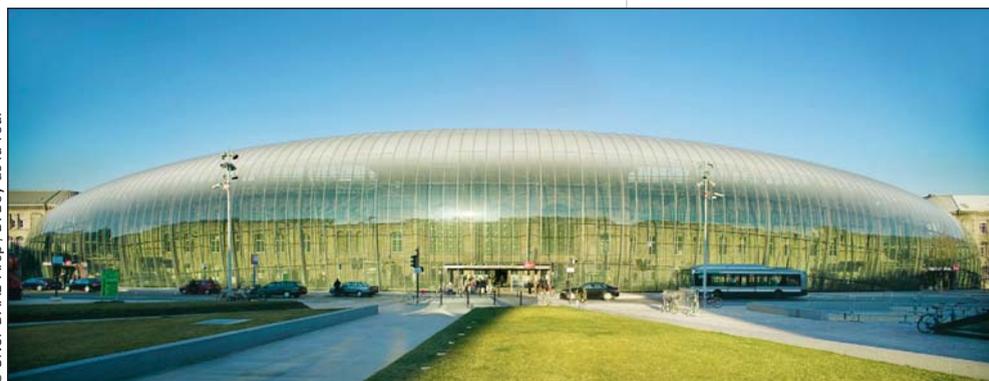
François Lagrange  
Chef de projet  
AREP

La réalisation du pôle d'échanges intermodal de Strasbourg s'articulait autour de plusieurs sous projets, menés concomitamment, permettant de mettre en cohérence l'ensemble des moyens de communication desservant la gare tout en simplifiant la lisibilité et la pratique des échanges pour le voyageur. Point fort : l'extension de verre et d'acier de 120 m de longueur qui prolonge l'ancien bâtiment en préservant la lecture globale de la façade existante classée.

L'arrivée du TGV à Strasbourg, le 10 juin 2007, le développement des transports urbains et interurbains, ainsi que la mise en œuvre de la première ligne tram-train conduisaient fatalement, selon les projections établies au début des années 2000, à une augmentation importante du nombre de voyageurs cheminant dans la gare et aux abords de la place. Ce projet qui a été mené après la signature d'une convention multiparties autorisée par délibération du Conseil de commune du 31 janvier 2003, ambitionnait donc de créer un pôle d'échanges intermodal permettant, d'une part d'éliminer l'ensemble des dysfonctionnements mis en évidence sur l'ancienne gare et, d'autre part, d'augmenter sa surface d'accueil.

## ■ Des flux de distribution totalement réorganisés

La place, qui était traitée comme un parvis entièrement minéral – créant au passage une image en rupture et décalée par rapport à celles des grandes places arborées qui caractérisent la ville – abritait, au niveau -1, un parking souterrain de superficie équivalente à celle de la place et, sous celui-ci, la station de tramway. Cette dernière ne bénéficiait d'aucun accès direct avec la gare, les futurs voyageurs devant remonter en surface au moyen de deux grands escaliers latéraux puis, pour pénétrer dans la gare, traverser le parvis avant d'emprunter des petites passerelles desservant la gare. Les voyageurs choisissant d'utiliser la voiture devaient, quant à eux, traverser une zone de dépose-minute (une seconde aire de ce type existait en surface sur le parc de stationnement de la Poste), située à l'extrémité du parking, puis rejoindre l'extérieur via l'ancienne galerie marchande existante, celle-ci n'offrant aucune



© SNCF DAAE-Arep / D. Boy de la Tour

Photo 1

La restructuration de la gare comprend la création d'un hall de transports central couvert d'une verrière atypique  
*The station restructuring includes the creation of a central transport hall covered with an atypical glass roof*

communication directe avec la gare. D'où un cheminement complexe, peu lisible et inconfortable. Quant aux bus, ils étaient éloignés de la gare du fait de l'implantation de la voirie principale au plus loin de la façade, autrement dit, là encore, l'obligation de franchir le parvis.

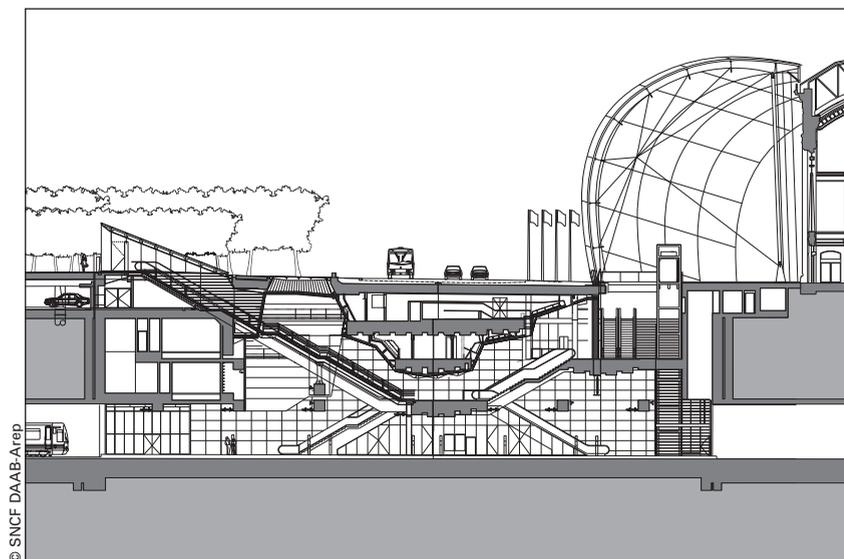
Concernant la gare proprement dite, qui était configurée selon le modèle des gares de l'Est de l'Hexagone, le passage sous les voies ferrées, situées à l'étage, s'effectuait via deux souterrains distants de 60 m, implantés au niveau de la rue et donnant accès aux quais. Pour rétablir un fonctionnement symétrique et équilibré, un nouveau hall a été créé au nord tandis qu'un troisième souterrain était ouvert aux voyageurs afin d'améliorer la desserte des quais.

Dans la nouvelle organisation le stationnement des bus est rapproché au plus près de la gare, tandis que la station de taxis, qui demeure au même emplacement au sud de la place, bénéficie d'un accès direct à la gare avec une attente sous marquise et une billetterie à proximité. L'ancien parking souterrain, désormais dévolu au stationnement de courte durée a vu sa capacité réduite, les parties latérales étant détruites afin de permettre la mise en œuvre du nouvel aménagement de la place (cf. encadré « L'aménagement paysager de la place »). L'accès principal à la gare s'effectue désormais directement sous la grande verrière où ascenseurs, escaliers traditionnels et mécaniques cohabitent pour rejoindre directement le niveau des halls.

## L'aménagement paysager de la place

L'ancienne place, espace minéral ceinturé par de hauts bâtiments et traversé par une grande avenue automobile, a été remplacée par un grand jardin de plus d'un hectare abritant liaisons sécurisées vers la gare et repérage évident des différents moyens de transport offerts : bus, tram, train, taxis, vélos... Elle propose par ailleurs des endroits où flâner et se reposer, le nouveau projet, qui réintroduit résolument une abondante végétation, s'articulant autour d'un espace central, la clairière, caractérisée par des surfaces engazonnées, et un espace alentour densément planté. Pour permettre l'implantation de ces arbres de hautes tiges, l'emprise du parking en sous-sol a été rationalisée afin de retrouver, en extrémité nord et sud de la place, des zones de pleine terre.

## Un écrin de verre pour la gare de Strasbourg



© SNCF DAAB-Arep

Figure 1

Gare de Strasbourg, aménagement du pôle multimodal -  
Projet, détail coupe sur station de tramway  
*Strasbourg Station, development of the multimodal  
hub - Design, detail of tramway station section*

### ■ Une trémie réalisée sous exploitation

Cet aménagement a été accompagné d'une réflexion à grande échelle en vue de gérer le stationnement de longue durée, celle-ci débouchant sur la création d'un nouveau parc de stationnement de 900 places, boulevard Wilson / rue de Woldi, la capacité du parc de Sainte-Aurélie, réalisé en 2006, étant parallèlement étendue à 750 places.

La circulation des voitures particulières sur le parvis se répartit désormais en 2 x 2 voies, qui font le tour de la place, les zones de dépose-minute de surface étant organisées et localisées de chaque côté, au nord et au sud, afin que les véhicules puissent repartir dans la direction de leur arrivée.

Un parc gardienné de 850 places, accessible depuis la place de la gare et par ascenseurs ou escaliers mécaniques depuis le hall des transports, a également été créé sous la station de taxis, cette structure étant complétée par une offre de location disposée à proximité de la station du futur tram-train. La station du tramway a, quant à elle, été totalement réaménagée afin que les piétons puissent sortir directement vers les halls nord et sud de la gare SNCF par l'intermédiaire d'escaliers fixes et mécaniques débouchant au droit des deux souterrains nord et sud, des ascenseurs assurant également la liaison directe entre les quais du tramway et le hall des transports.

Il est également désormais possible de rejoindre la place jardin par une liaison mécanisée qui communique avec la ville depuis les quais du tramway. Pour ce faire il a fallu créer une trémie en ouvrant la partie



© SNCF DAAB-Arep / D. Boy de la Tour

Photo 2

La géométrie de la verrière épouse le profil de la façade historique, l'ensemble se présentant sous la forme d'un « pseudo-tore »

*The shape of the glass roof matches the profile of the historic facade, the whole appearing in the shape of a "pseudo toroid"*

haute de la boîte de 18 m de hauteur et 25 m de large constituant la station. Autrement dit découper la dalle du parking, dont l'épaisseur atteint un mètre, l'intervention s'effectuant avec les tramways en circulation et les voyageurs en dessous. Pour ce faire, la coque a été tronçonnée au fil à diamant tous les 60 cm, la découpe s'effectuant en biais (section trapézoïdale) afin que les blocs réalisés ne puissent tomber, les éléments étant ensuite levés et évacués de nuit au moyen de grues automotrices de forte capacité.

L'intervention a bien entendu nécessité la mise en place de butons, afin d'éviter que les parois latérales ne se rapprochent suite aux efforts de poussée engendrés par la nappe phréatique située à environ 3 m de profondeur. Soulignons que cette trémie a également permis de créer un puits de lumière, doté d'une couronne elliptique en inox poli miroir, qui amène un éclairage naturel dans la station de tramway.

### ■ Un pseudo-tore transparent

Une des facettes les plus importantes du projet consistait donc à accroître la superficie de la gare, afin de la rendre en adéquation avec les évolutions attendues du trafic (il est passé de 40 000 voyageurs/jour avant les travaux à 60 000 aujourd'hui), tout en créant un hall des transports, sorte de hub voyageurs permettant d'améliorer les liaisons intermodales entre la gare et l'ensemble des moyens d'accès.

Le service départemental de l'Architecture ayant préconisé le maintien d'une lecture globale de la façade

## Une architecture classique d'origine germanique

Afin de mieux comprendre l'état initial de la gare et de son environnement urbain, il est utile de prendre conscience de son évolution historique; la gare d'origine, conçue par l'architecte allemand Jacobsthal et construite par les Chemins de fer allemands, étant entrée en service en 1883. Caractérisée par son architecture classique, destinée à impressionner les nouveaux citoyens du Reich, sa réalisation s'accompagne d'un aménagement paysager marqué, composé autour d'un jardin planté d'arbres de hautes tiges venant encadrer la façade, à l'image des autres places strasbourgeoises de l'époque.

En 1891, l'escalier de l'empereur a été rajouté sur la façade, tandis que le bâtiment de la Poste a été réalisé vers 1900.

Au début du siècle deux bâtiments viennent encadrer la place (de part et d'autre de la gare) qui, tout en ayant conservé ses caractéristiques d'origine, doit accueillir le trafic naissant des premières voitures et du tramway qui vient, peu à peu, supplanter celui des calèches.

Dès les années 1930, les arbres et le jardin disparaissent face au développement de ces modes de transport mécanique qui s'approprient l'espace en effaçant les principes d'aménagements originels. À partir de 1932, la place devient un espace fonctionnel dédié aux transports routiers : cars et voitures. Une dérive qui sera poussée jusqu'au bout de cette logique dédiée aux machines, l'aménagement proposé imposant aux piétons, à partir de 1979, de descendre pour passer en dessous de la place et de son univers mécanique.



© SNCF

Photo 3

Carte postale de la gare de Strasbourg et de sa place vers 1900

*Postcard of Strasbourg Station and its square around 1900*

classée, témoignage de l'architecture allemande des années 1880, cet impératif débouchait naturellement sur le choix d'une solution verre, excluant toute structure moins haute que le bâtiment initial, avec un objectif de transparence maximale.

L'avancée moderne du buffet, construite en 1980, a tout d'abord été supprimée afin de remettre au jour la façade originelle de 1883. Quant à la géométrie de la verrière sa courbe en plan devait suivre l'implantation des circulations verticales de la station de tramway vers la gare, tout en épousant le profil de la façade historique dont le corps central est plus haut et plus large. Résultat : une surface à double courbure positive, constituée d'une portion de pseudo-tore définie par la révolution d'une courbe sur un axe incliné par rapport à la verticale. Configuration qui induit un rétrécissement progressif des dimensions vers les extrémités et un type de surface propice à la répétition de ses éléments constitutifs.

Pour répondre à l'objectif de transparence la structure de la verrière devait être conçue de manière à être la plus fine possible, d'où le choix d'alléger au maximum la charpente métallique, son schéma statique devant par ailleurs s'inscrire dans le tracé régulateur du bâtiment historique.

Les éléments métalliques primaires et secondaires devaient également être orientés de telle sorte que leur épaisseur structurelle ne gêne pas la vue de la gare depuis la place. Dans la pratique la verrière est constituée d'une ossature primaire, composée de dix-huit cintres métalliques appuyés au sol et sur des poteaux (diamètre 270 mm) implantés le long de la gare, sur une trame de 9 m, et d'une structure secondaire formée de tubes horizontaux renforcés par un système (baptisé « Fink ») de fines barres d'acier réparties selon une trame de 4,50 m. Les dix-huit arcs, formés de deux

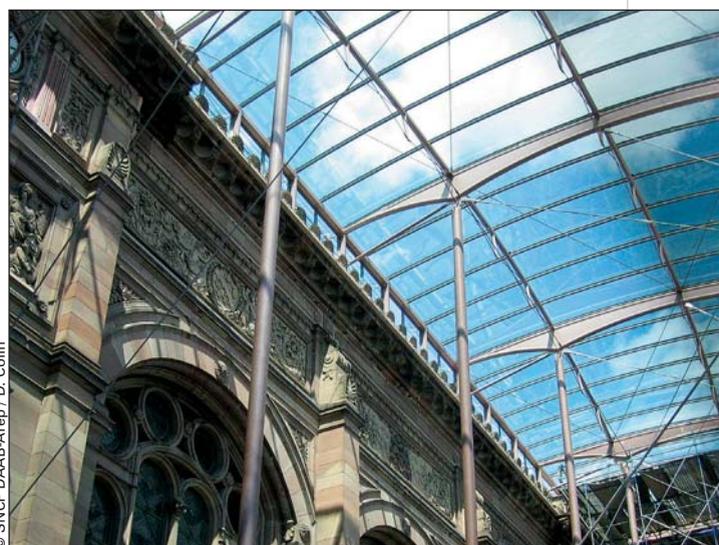


© SNCF DAAB-Arep / A. Riehl

Photo 4

La verrière est constituée d'une ossature primaire, composée de 18 cintres métalliques appuyés au sol et sur des poteaux implantés le long de la gare, selon une trame de 9 m

*The glass roof consists of a primary frame, formed of 18 steel arches supported on the ground and on columns set up over the length of the station, with a 9-metre spacing pattern*



© SNCF DAAB-Arep / D. Colin

Photo 5

La verrière a été conçue de manière à être la plus fine possible, d'où le choix d'alléger au maximum la charpente métallique

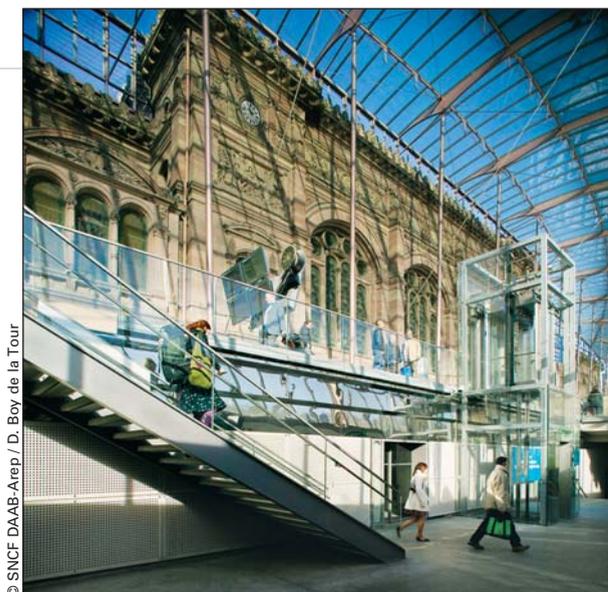
*The glass roof has been designed to be as thin as possible, hence the decision to reduce the weight of the steel frame as much as possible*



Un écrin de verre pour la gare de Strasbourg

Photo 6

La station du tramway a été réaménagée afin que les piétons puissent sortir directement vers les halls nord et sud de la gare SNCF par l'intermédiaire d'escaliers fixes et mécaniques. The tramway station has been redeveloped so that pedestrians can leave directly toward the north and south halls of the railway station via stairways and escalators



© SNCF DAAB-Arep / D. Boy de la Tour

Photo 7

Les 18 arcs, formés de deux tubes sont raidis par un ensemble de câbles rayonnant autour d'un moyeu. The 18 arches, formed of two tubes, are stiffened by a set of cables radiating around a hub



© SNCF DAAB-Arep / D. Boy de la Tour

tubes (diamètre 139 mm) reliés par une plaque métallique (entraxe 400 mm), sont raidis par un ensemble de câbles rayonnant autour d'un moyeu.

ce faire, les appuis des arcs ont été renforcés par l'intermédiaire de micropieux, de 10 à 12 m de profondeur, réalisés selon la technique classique – parfaitement adaptée au terrain alluvionnaire rencontré – de la tarière creuse.

■ Une raideur extrême

Un réseau tertiaire, constitué de T métalliques implantés selon une trame de 1,50 m, complète l'ensemble en servant de support aux panneaux verriers de 4,50 x 1,50 m. Le choix d'une structure métallique la plus légère possible, mais qui devait par ailleurs présenter une raideur extrême – le déplacement d'un appui par rapport à l'autre ne devant pas excéder le millimètre –, a conduit à reporter beaucoup de contraintes sur le gros œuvre, d'où l'obligation de réaliser un béton imposant.

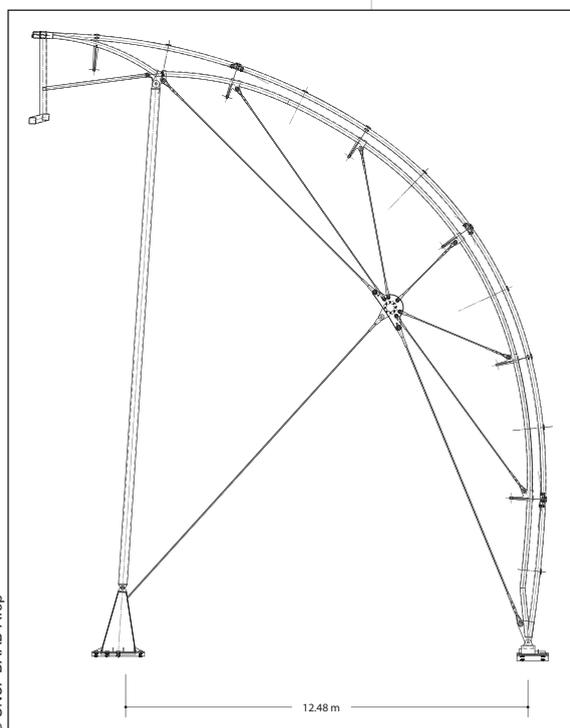
La principale difficulté de cette partie spécifique des travaux a découlé des conditions météorologiques très défavorables qui ont régné sur Strasbourg durant la fin de l'année 2006. La ville a en effet essuyé un véritable hiver, événement qui n'avait pas eu lieu depuis quelques années, avec des températures chutant jusqu'à -20 °C; le sol, gelé parfois jusqu'à un mètre de profondeur, interdisant toute possibilité d'intervenir en immobilisant le chantier pendant six semaines.

À noter que les considérations sismiques ont nécessité de précontraindre fortement les câbles raidisseurs des arcs – tout comme les câbles de contreventement surfaciques – l'ensemble de ces dispositifs devant rester tendus en cas de séismes afin d'éviter les vibrations et, partant, les risques de mise en résonance pouvant en découler.

Côté mise en œuvre les dix-huit cintres, livrés en deux ou trois éléments, ont été assemblés sur le site, à leur emplacement définitif, afin d'éviter les problèmes de déformation qui auraient pu résulter d'un assemblage à plat suivi d'un levage d'un bloc. Dans la pratique les éléments ont été grutés et mis en place sur un chevalet vertical, servant de gabarit, puis soudés à la verticale.

■ 6000 m<sup>2</sup> de verre bombé

Le pied des arcs repose sur une poutre sablière par l'intermédiaire d'appuis glissants, constitués d'une platine métallique avec appui téflon, afin de répondre aux problèmes de dilatation.



© SNCF DAAB-Arep

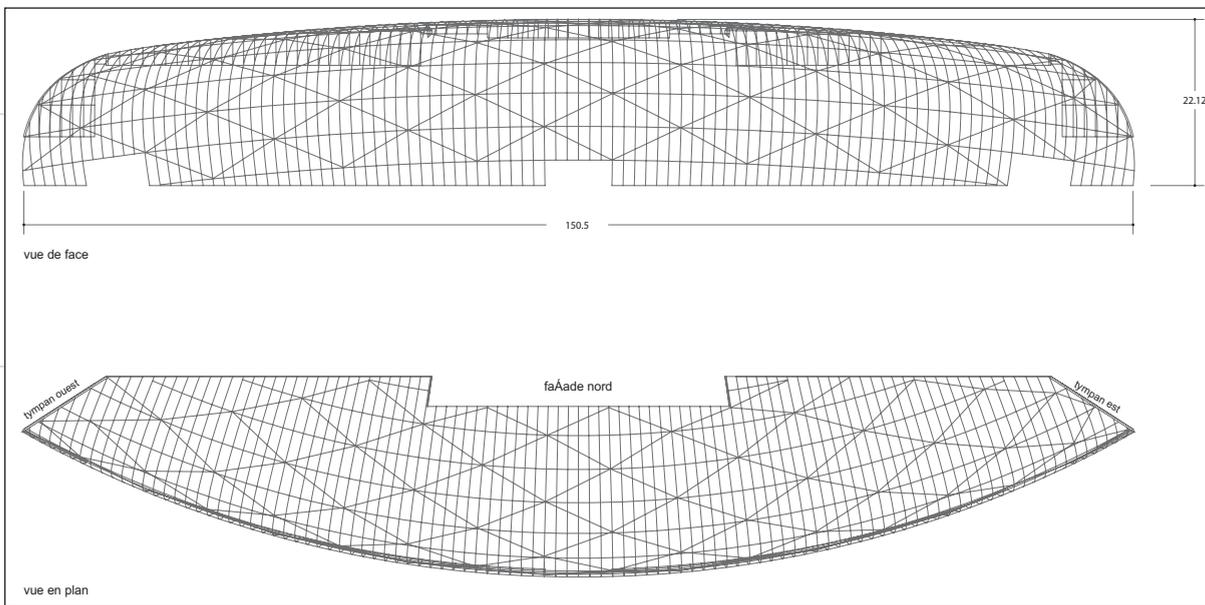
Figure 2

Hall des transports, détail de l'arc de la verrière. Transport hall, detail of glass roof arch

en ajoutant un lit d'armatures en partie supérieure, cette nappe de ferrailage étant noyée dans un mortier spécial de faible épaisseur.

De nombreux voiles ont par ailleurs été doublés avec, dans certaines zones, création de contre-voiles.

Côté verrière, l'objectif était de créer une structure indéformable totalement indépendante de la gare. Pour



**Figure 3**  
Hall des transports, structure de la verrière  
*Transport hall, detail of glass roof structure*

© SNCF DAAB-Arep

Point fort et vedette du projet : la verrière de 120 m, très bombée, le rayon de courbure variant de 12 à 36 m ! Le spécialiste allemand Seele a tout d'abord étudié l'hypothèse d'un bombage à chaud, solution qui a dû rapidement être abandonnée en regard de l'insuffisance des résultats, tant du point de vue de la transparence que de l'homogénéité de surface. Pour parvenir au cintrage requis, l'entreprise a réalisé une prouesse technique, et sans doute une première en la matière, en décidant d'opérer comme pour le bois lamellé-collé. Elle a en l'occurrence mis au point une technique spéciale permettant de réaliser un préfeuilletage sous vide, chacun des panneaux de 700 kg étant cintré à froid sur un gabarit, le collage des différentes couches intervenant ensuite sous étuve, dans un autoclave.

Autre contrainte à intégrer : l'aspect climatique. Il ne s'agissait pas, bien entendu, de garantir une température de 20 °C dans la verrière qui n'est qu'un lieu de transit, mais d'assurer le confort thermique des usagers en garantissant une ambiance tempérée quelle que soit la saison. Autrement dit éviter un trop fort contraste entre l'extérieur du hall des transports et les espaces publics du tramway ou de la gare (zone SNCF), les objectifs visés étant de garantir en été une température inférieure de -3 °C par rapport à la valeur extérieure (celle-ci pouvant aller jusqu'à 35 °C), alors qu'en hiver les conditions intérieures doivent être supérieures de 5 °C en regard des températures extérieures, avec un extrême fixé à -15 °C.

Les études menées en ce sens, en se basant sur les TRS (températures résultantes sèches) qui tiennent compte de la température de l'air et de la température radiante moyenne, ont démontré que l'objectif serait largement dépassé en hiver et que la température sous la verrière ne descendrait pas au-dessous de 0 °C, même en cas de seuil limite atteint à l'extérieur. C'est le risque de surchauffe en été qui représentait le facteur critique, la géométrie de l'ouvrage ayant été, dès le début des études, adaptée pour réduire au maximum l'incidence des rayons solaires lorsque le flux est maximum.

Autre dispositif permettant de limiter l'apport solaire direct : l'intégration d'une sérigraphie bichromatique au vitrage.

### ■ Traitement climatique poussé

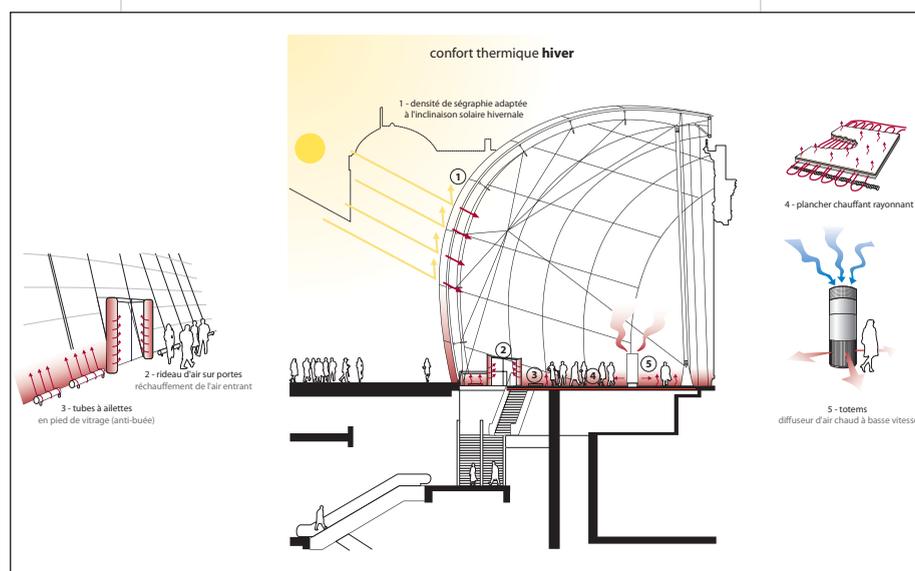
Dans la pratique sa densité varie de 0 à 75 % en suivant, à la fois, les besoins thermiques et les exigences visuelles souhaitées. La partie basse, pour laquelle le rayonnement solaire est tangentiel et contribue donc à une faible transmission de chaleur, n'est pas sérigraphiée, tandis que la densité augmente au fur et à mesure où l'on se rapproche de la section supérieure afin d'assurer la protection contre les insulations zénithales.

La transmission énergétique de l'enveloppe de verre a également été limitée par l'ajout d'un film qui confère au vitrage des caractéristiques spectro-photométriques performantes. Il s'agissait de réduire l'apport calorifique en été, en filtrant principalement le rayonnement infrarouge, et ce tout en conservant le maximum de transparence. Les films réfléchissants traditionnels, à base de couches métalliques classiques, outre qu'ils génèrent des effets de teinte, ne répondaient pas à



© SNCF DAAB-Arep / S. Lucas

**Photo 8**  
La verrière très bombée est constituée de panneaux cintrés à froid sur gabarit  
*The highly convex glass roof is formed of panels cold bent on a template*



**Figure 4**  
Verrière, coupe. Principe de fonctionnement thermique en hiver  
*Glass roof, section. Principle of thermal operation in winter*

© SNCF DAAB-Arep

## Un écran de verre pour la gare de Strasbourg

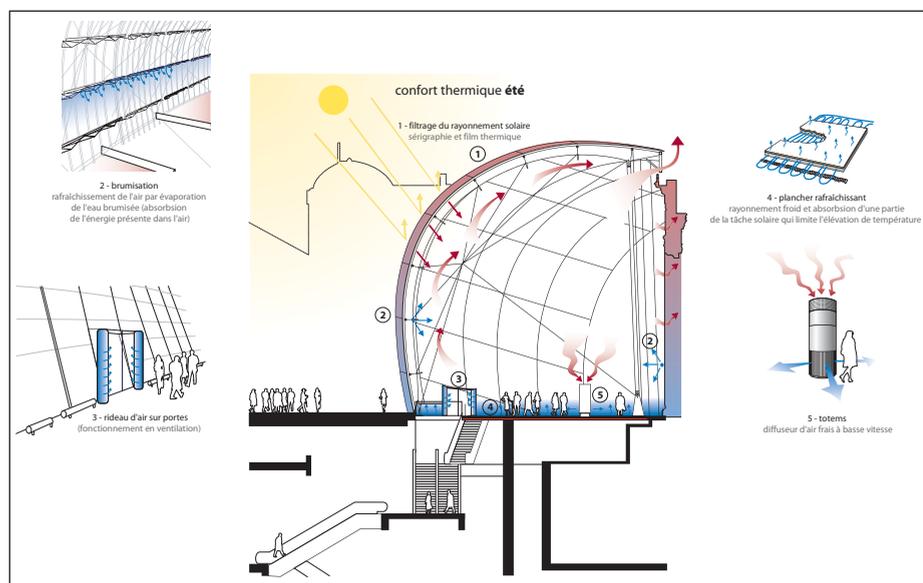


Figure 5

Verrière, coupe. Principe de fonctionnement thermique en été

Glass roof, section. Principle of thermal operation in summer



cet impératif de bon rapport entre visibilité et confort thermique. Le choix s'est porté sur un film « XIR California » inséré entre la couche de vitrage feuilleté 6 mm, côté extérieur, et les 6 mm de verre standard positionné à l'intérieur.

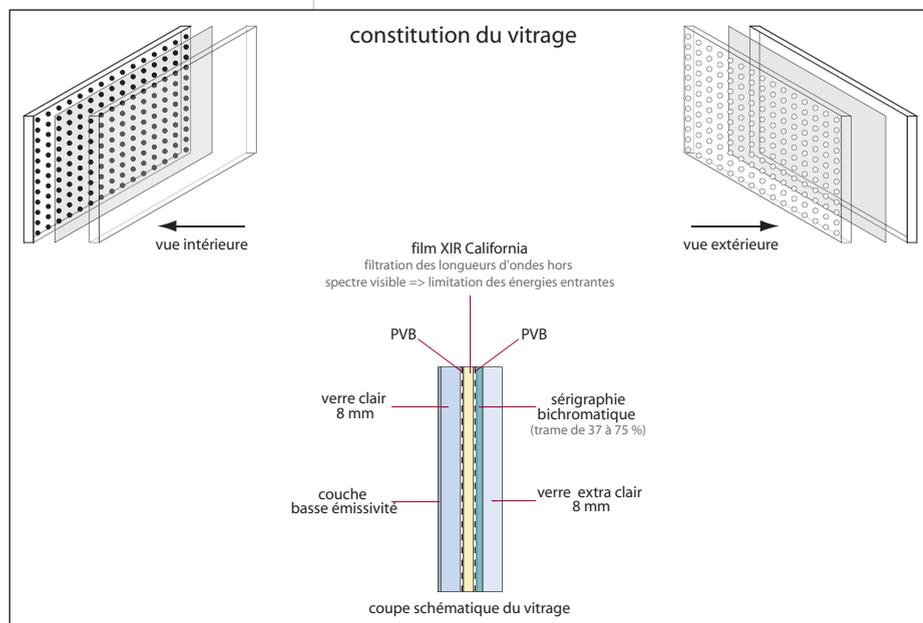
Le film XIR ne bénéficiant pas d'un agrément national, des essais de vieillissement poussés ont dû être effectués, une procédure d'ATEX étant menée sur le site industriel de Seele afin de vérifier, notamment, les performances mécaniques du vitrage, son étanchéité et la prise en feuillure.

Dans la composition de ce simple vitrage feuilleté a également été ajoutée, en face intérieure, une couche basse émissivité destinée à réduire la puissance radiative en été. En réémettant de manière préférentielle la chaleur du vitrage chauffée par le soleil vers l'extérieur plutôt que vers l'intérieur, elle renforce ainsi la sensation de confort thermique.

Figure 6

Verrière, constitution du vitrage

Glass roof, composition of glazing



Des études poussées ont par ailleurs été menées, en collaboration avec le bureau Transsolar, sur la localisation d'ouvrants de ventilation naturelle. Ces dispositifs permettent à la fois d'évacuer une partie de la chaleur en partie haute du volume, via la création d'un mouvement convectif longeant la façade vitrée, mais aussi de provoquer une stratification des couches d'air dans le reste du volume. Les parties basses sont ainsi stabilisées pour apporter un confort maîtrisé au plus près du public.

Des dispositifs actifs, adaptés à la problématique, ont également été mis en œuvre en complément du système passif. Des rideaux d'air dynamiques, positionnés au niveau de chacune des portes, chauffent en hiver et ventilent en été, en réchauffant ou en rafraîchissant l'air entrant. Ils réduisent ainsi le phénomène de courants d'air susceptibles de perturber l'équilibre aérodynamique atteint. Un plancher à eau réversible assure, quant à lui, un rayonnement à 28 °C en été (pour les jours les plus chauds à 35 °C en extérieur) et 20 °C en hiver, durant les journées de froid à 15 °C. La température de rayonnement estival peut paraître élevée mais elle tient compte de la diffusion de fraîcheur, apportée par l'eau glacée qui circule dans les tubes, mais aussi d'une montée en température de la surface du sol soumis au rayonnement direct du soleil sur le plancher.

Deux lignes de brumisation d'eau, mises en place à 5 m de hauteur sur la façade vitrée et sur celle du bâtiment, complètent le système de rafraîchissement de l'air.

Dernières touches de confort : neuf totems de 2,50 m de hauteur, développés par la société Stik et installés à proximité des zones d'attente ou d'information (panneaux d'affichage) dans lesquelles le public est amené

### En attendant l'empereur

Comme dans toutes les gares de l'Alsace-Lorraine allemande, érigées entre 1870 et 1918, un « Salon de l'Empereur » était prévu afin de recevoir celui-ci à sa descente du train. L'empereur n'est jamais passé dans ces salons qui sont restés vides, tels que construits à l'époque, avec les plafonds en plâtre et bois sculptés, les lustres en cristal, les parquets en marqueterie, les cheminées en marbre et les grands vitraux multicolores.

Cet espace à l'ornementation riche, témoignage du savoir-faire alsacien de l'époque fin XIX<sup>e</sup>, a été restauré – nettoyage des plafonds, restauration ou réfection à l'identique des boiseries, restauration des lustres et des vitraux – afin d'y intégrer le salon Grand Voyageur et son concept de mobilier contemporain très sobre, permettant ainsi une mise en valeur par le contraste.

© SNCF DAAB-Artep

© SNCF DAAB-Artep

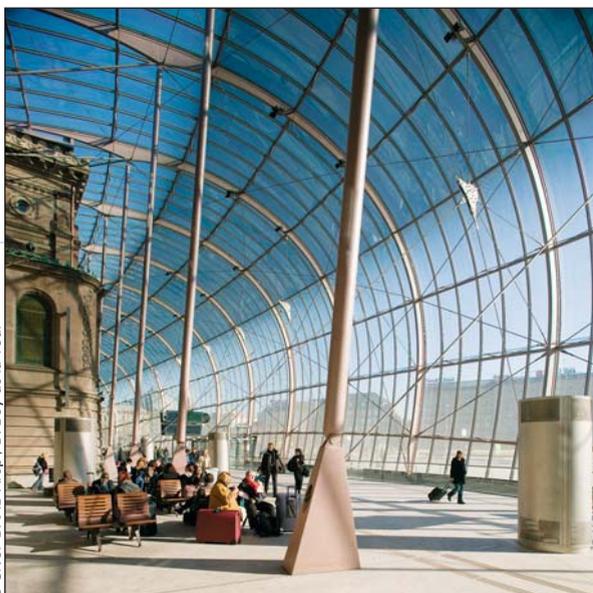


Photo 9

La structure secondaire de la verrière est formée de tubes horizontaux renforcés par un système de fines barres d'acier réparties selon une trame de 4,50 m

*The secondary structure of the glass roof is formed of horizontal tubes reinforced by a system of thin steel bars distributed according to a 4.50-metre spacing pattern*

à séjourner plus longuement. Ces équipements fournissent un confort d'appoint en diffusant, à basse vitesse, de l'air frais en été et chaud en hiver.

Ce projet ambitieux a permis de faire de la gare de Strasbourg un outil d'intermodalité performant, en adéquation avec l'image de modernité apportée par le TGV, mais aussi de revaloriser, au plan urbain, l'ensemble du quartier et de traduire le dynamisme de la Communauté urbaine. ■

## FICHE TECHNIQUE

### Maître d'ouvrage

SNCF-Direction des Gares et de l'Escale (pôle d'échanges); RFF (souterrain), Communauté urbaine de Strasbourg (place et parking); Compagnie des Transports Strasbourgeois (station de tramway)

### Maître d'œuvre

Agence des gares (DAAB-SNCF), AREP

### Architectes

Jean-Marie Duthilleul, Étienne Tricaud, François Bonnefille

### Bureau d'études verrière

RFR

### Bureau d'études gros œuvre

Coteba (hors gare); OTE (gare)

### Bureau d'études technique

AREP (hors place et station de tramway); SERUE (place et station de tramway)

### Synthèse

AREP

### OPC

SERUE

### Paysagiste

Michel Desvigne, Ingénieurs et Paysages

## ABSTRACT

### A glass case for Strasbourg railway station

Fr. Lagrange

*The advent of a high-speed train service in Strasbourg and the installation of the first tram-train line have led to an increase in the number of passengers walking in the station square. With the creation of the intermodal exchange pole, the passenger building and all the links inside the station have been reorganised, eliminating the initial dysfunctions on the site.*

*The square has regained its original character, with a large garden sheltering secure passageways to the station.*

*The tramway station has been completely reconfigured, with links between the quays and the surface.*

*The area of the station has been increased with a large glass roof 120 metres long. This 6000 sq. m glass shell, of pseudo-toroid shape, is a real technical exploit which required the development of a special glass bending technique. Special attention was paid to the HVAC engineering treatment of this volume to ensure user comfort.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### Un estuche de vidrio para la estación de Estrasburgo

Fr. Lagrange

*La llegada del tren de alta velocidad (TGV) en Estrasburgo y la ejecución de la primera línea de tranvía-tren dieron lugar a un aumento del número de viajeros que se desplazan en la plaza de la estación. La creación del polo de intercambios intermodal ha permitido la reordenación del edificio para viajeros, así como la totalidad de los enlaces en el interior de la estación, al eliminar los funcionamiento incorrectos de este emplazamiento.*

*La plaza ha vuelto a reanudar con su carácter original, con un gran jardín en el que se puede caminar por pasos protegidos hacia la estación.*

*La estación de tranvía se ha reconfigurado en su totalidad con la realización de enlaces entre los andenes y la superficie.*

*La superficie de la estación fue ampliada con un gran lucernario de una longitud de 120 metros. Esta cúpula de vidrio de 6000 m<sup>2</sup>, en forma de seudo-torre, constituye una verdadera hazaña técnica que ha precisado la elaboración de una técnica específica de arqueo. Se ha aplicado una atención particular para el tratamiento climático de este volumen con objeto de garantizar el confort de los usuarios.*

# Prolongement de la ligne 1 au tunnelier à Marseille



Photo 1

Juin 2007 : l'équipe du tunnel fête l'arrivée à la station Louis Armand

June 2007: the tunnel crew celebrates the arrival at Louis Armand station

Depuis l'été 2005, les équipes de VINCI Construction France œuvrent à la réalisation de deux stations et du tunnel du prolongement de la ligne 1 du métro de Marseille, qui mettra le quartier de La Fourragère, dans l'est de la cité phocéenne, à moins d'un quart d'heure du Vieux-Port en 2009. Réalisé au tunnelier, ce chantier est aussi une première technique dans une ville où l'hétérogénéité du sous-sol avait toujours conduit à préférer le creusement en traditionnel.

Plus ancienne ville de France (elle a été fondée il y a 2 600 ans), Marseille s'est construite autour de son port, dans un site qui n'était pas idéalement adapté aux contraintes de l'agglomération de 850 000 habitants qu'elle est devenue. Bordée et par là même limitée par la mer à l'ouest et au sud, la ville s'est agrandie vers le nord et vers l'est sur une surface d'autant plus étendue (deux fois et demie celle de Paris) qu'une part importante de ses terrains sont inconstructibles. Marseille reçoit par ailleurs les flux de circulation de trois autoroutes, l'A50, l'A55 et l'A7, dont elle ne peut jusqu'à présent se délester sur aucune rocade.

La densité de la circulation conjuguée à l'étendue de la ville rend donc les déplacements et les transports très sensibles dans la cité phocéenne, et ce malgré les lignes de métro construites en 1977 (ligne 1), en 1987 (ligne 2) et au début des années 1990 (prolongement ligne 1) et les 78 lignes de bus.

Au seuil des années 2000, cette situation a conduit la Communauté urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM) à lancer un vaste projet d'aménagement destiné à desservir les zones d'habitat les plus denses et celles dont les axes de communication sont les plus chargés. Il a ainsi été prévu de prolonger vers l'est la ligne 1 du métro, depuis son terminus actuel, la station Timone, jusqu'au quartier de La Fourragère, et de construire trois lignes de tramway (12 km) se raccordant au futur métro à la hauteur de la station La Blancarde. Parallèlement se poursuivait la construction d'une rocade, dite L2, dont les tronçons nord et est assureront à terme la liaison des autoroutes A55 et A7 au nord et A50 au sud (figure 1).

## ■ Des raisons techniques et urbanistiques

« Le choix du métro, sur ce secteur, par rapport au tramway, s'est imposé pour des raisons à la fois techniques et urbanistiques, explique Philippe Grand, responsable communication à la Mission grand projet Métro Tramway (maître d'ouvrage). Tout d'abord, la ligne 1 existante constituait l'opportunité d'un raccordement vers des quartiers jusqu'alors imparfaitement desservis en transports en commun, mais surtout il n'aurait pas été possible d'aménager un tramway pour des questions d'insertion urbaine, notamment dans le noyau villageois de Saint-Barnabé. Avec ses chantiers bien délimités et fixes, le métro réduit fortement la part de nuisances occasionnées aux riverains. Cet aspect répond aussi à une des préoccupations majeures de la collectivité (Marseille Provence Métropole). »

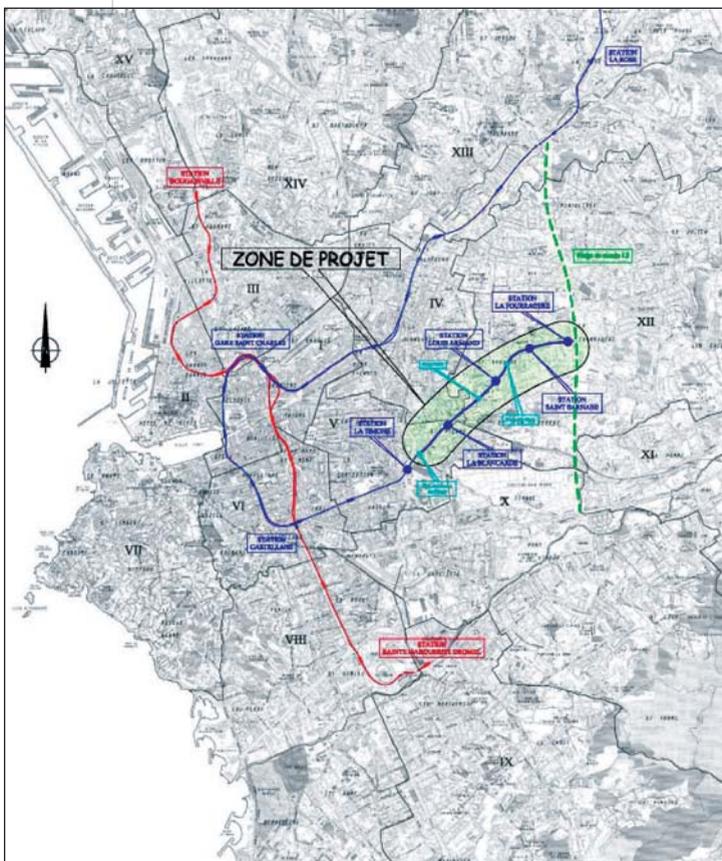
Lancés en 2004, les appels d'offres des travaux de génie civil du prolongement du métro se composaient de quatre lots. Les trois premiers lots concernaient respectivement les stations La Blancarde, Louis Armand et Saint-Barnabé. Le quatrième associait la réalisation de la station La Fourragère, d'un parking semi-enterré de 500 places, celle du tunnel ainsi que de trois puits en interstation destinés à l'accès des secours. Rempportés en octobre 2004 et en juin 2005 par deux groupements ayant GTM Génie Civil et Services (VINCI Construction France) comme mandataire, les premier et quatrième lots représentent un montant global de marché dépassant 100 M€ et sont les lots majeurs du projet.

« Le métro n'est pas une nouveauté à Marseille, observe

Figure 1

Plan de situation. Venu de La Fourragère, un quartier Est de la ville, l'extension du métro rejoint la ligne 1 à la station Timone, son terminus actuel

Location drawing. Coming from La Fourragère, an eastern neighbourhood of the city, the metro extension joins line 1 at Timone station, its current terminus



# du métro : une première

**Olivier Betoux**  
 Directeur d'activité TP  
 GTM GCS région Sud

**Michel Gouverneur**  
 Directeur des travaux  
 souterrains  
 Campenon Bernard TP

**Philippe Grand**  
 Responsable  
 communication métro  
 et tramway  
 Mission grand projet  
 Métro Tramway (MMT)

**William Ibanez**  
 Conducteur de travaux  
 Spie Batignolles TPCI

**Philippe Idrac**  
 Directeur de chantier  
 Chantiers Modernes Sud

**Bernard Lions**  
 Chef de projet  
 SMM

**Alban Martinotto**  
 Directeur de projet  
 Campenon Bernard TP

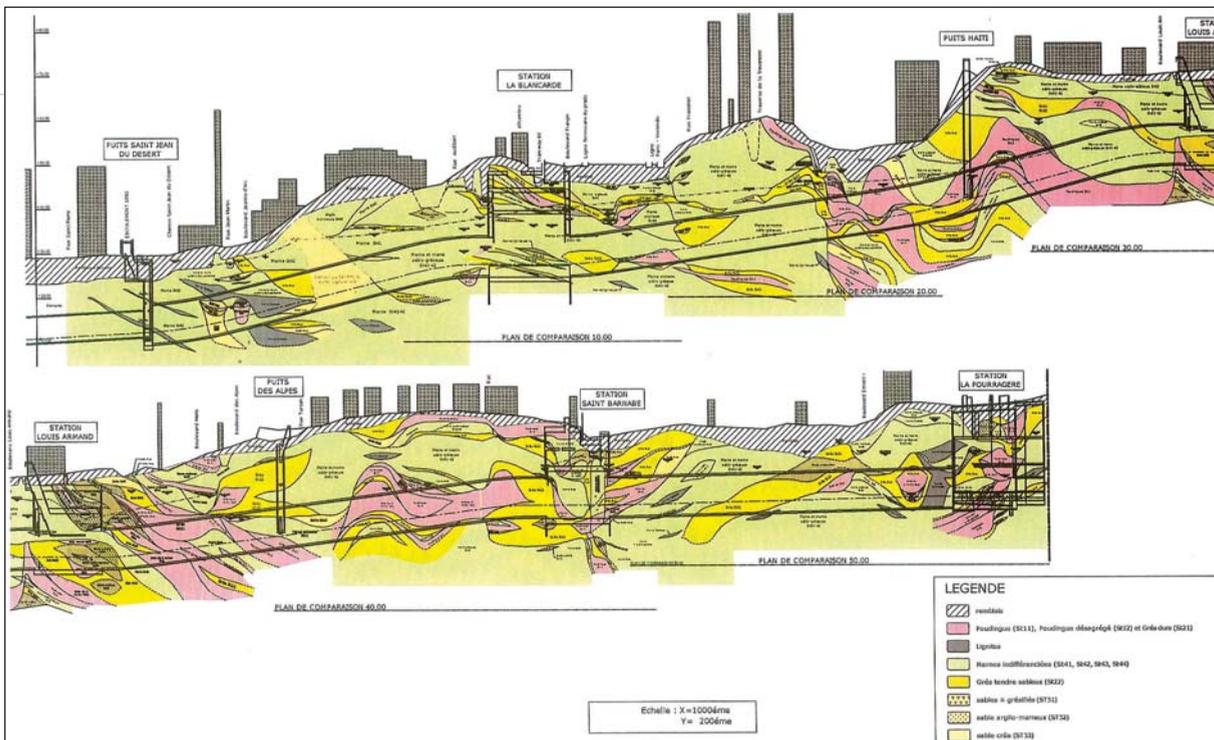


Figure 2

Profil en long géologique du tracé entre La Fourragère et le raccordement à la ligne existante à la hauteur du puits Saint-Jean-du-désert. Le dénivelé du tracé, long d'environ 2 000 m, est de 60 m

Geological longitudinal profile of the alignment between La Fourragère and the connection to the existing line at the level of the Saint-Jean-du-Désert shaft. The difference in altitude of the alignment, about 2 000 m long, is 60 m

Alban Martinotto, directeur de projet du quatrième lot, mais ce prolongement est tout de même une première puisque, pour la première fois, un tunnelier est utilisé dans le creusement d'une galerie à Marseille. »

Contrairement à d'autres villes dont les métros ont été construits au tunnelier, le sous-sol ici est très hétérogène et ses différents composants ont même des caractéristiques opposées. Sous une épaisseur variable de remblais, on y trouve des terrains de toutes les consistances, des plus coriaces, comme le « poudingue », une sorte de béton naturel, ou les grès durs, aux plus mous (marnes) en passant par les lignites, le grès tendre, des sables plus ou moins grésifiés et d'autres argilo-marneux, etc. – hétérogénéité qui pour les premiers projets de métro, avait fait opter pour un creusement en traditionnel (figure 2).

## ■ Molettes et couteaux

« Cette fois, la réflexion s'est orientée différemment en prenant en compte différents critères, explique Bernard Lions, chef de projet à la SMM filiale de la Semaly (groupe Egis), maître d'œuvre du projet : le tracé sous une zone de bâti ancien réputé fragile imposait des tolérances de tassement très réduites (1 cm sous voirie, 5 mm sous bâti), qui s'accordaient mieux avec un creusement en mode confiné. Après avoir tranché pour un tunnel monotube, nous avons finalement proposé le tunnelier à pression de terre, qui permettait en outre de réduire le délai de réalisation. »

Ces choix opérés, il restait tout de même une importante question technique concernant la roue de coupe. « Tous les sculpteurs le savent, explique Olivier Betoux,

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS LOT TUNNEL, LA FOURRAGÈRE, PUIES EN INTERSTATION ET PARKING

Montant : 71 M€

#### Station La Fourragère

- Terrassements : 60 000 m<sup>3</sup>
- Paroi parisienne : 2 962 ml
- Béton projeté : 5 387 m<sup>2</sup>
- Béton : 14 800 m<sup>3</sup>
- Armatures : 1 510 t

#### Tunnel

- Longueur : 1 973 m
- Diamètre d'excavation : 9,790 m
- Diamètre fini : 8,650 m
- Nombre de voussoirs par anneau : 8, dont une clé
- Longueur d'un anneau : 1,50 m
- Volume de déblais : 148 520 m<sup>3</sup>

#### Puits

- Terrassements : 5 100 m<sup>3</sup>
- Béton de structure : 2 400 m<sup>3</sup>
- Armatures : 200 t

## Prolongement de la ligne 1 du métro : une première au tunnelier à Marseille

Photo 2

Automne 2006 : livraison de la roue de coupe. L'outil, qui pèse 850 t, est équipé de molettes pour briser les terrains rocheux par pression et de couteaux pour désagréger les sols meubles

*Autumn 2006 : delivery of the cutting wheel. The tool, weighing 850 tonnes, is equipped with disc cutters to break rocky ground by pressure and blades to disintegrate loose soils*



le directeur d'activité TP de GTM Génie civil et Services région Sud, on ne travaille pas la pierre et l'argile avec les mêmes outils. La roue de coupe devait donc être équipée de molettes, qui font éclater par pression les roches les plus dures, et de couteaux qui grattent et désagrègent les terrains meubles. Elle devait aussi, et c'était le point délicat de la conception, être suffisamment ajourée pour permettre une évacuation efficace des déblais du front de taille et structurellement assez forte pour "passer" sans casse la puissance de la machine. »

Alors que Gyptis, c'est le nom du tunnelier, vient d'arriver à la station La Blancarde et qu'il ne lui reste plus que 400 m de galerie à percer, le pari semble en voie d'être gagné (photo 2).

Un autre élément est venu a posteriori conforter le choix du tunnelier à pression de terre : l'eau.

« Étant à Marseille, dans une région considérée comme sèche, on n'imagine pas rencontrer beaucoup d'eau dans le sous-sol, fait remarquer Alban Martinotto. Bien que nous ayons dû combler de nombreux anciens puits sur le tracé de la galerie pour prévenir tout risque de fontis et d'effondrement en cours de creusement, nous avons été surpris par la quantité d'eau présente dans le sous-sol. »

Grâce au creusement en mode confiné, cet imprévu est

resté sans conséquence, l'eau étant refoulée dans le terrain au niveau du front de taille. Quant à celle qui s'infiltrait au niveau des anneaux non encore injectés au mortier, elle est récupérée et évacuée par la conduite d'exhaure qui fait partie de la « ligne de vie » du tunnelier.

« En fait, poursuit Alban Martinotto, même sur la distance assez courte dans l'absolu que représente ce prolongement – moins de 2000 m –, la solution du tunnelier est entièrement justifiée par les impératifs de sécurité, d'autant que la couverture de terre au-dessus de la galerie, en moyenne de 10, 12 m, ne dépasse pas 6,50 m à certains endroits. »

### ■ Les BRH à la rescousse

Avant de mobiliser l'attention des mineurs de VINCI Construction France, la géologie du sous-sol marseillais a constitué un point dur pour les autres intervenants. Lancés fin 2005 par Botte Fondations, qui a réalisé en paroi parisienne l'enveloppe, profonde de 25 m de la future station La Fourragère, point de départ du creusement, les travaux ont butté sur un volume de terrain dur beaucoup plus important que prévu. Impossibles à réaliser à la pelle, les terrassements ont nécessité l'intervention de brise-roches hydrauliques (BRH) ralentissant le rythme par rapport au planning initial, si bien que la mise en place et l'assemblage du tunnelier ont partiellement dû se conjuguer, à l'automne 2006, avec le génie civil de la station (photos 3, 4 et 5).

Prolongée par une arrière-gare réduite, indispensable à la sécurité du matériel courant, la station, longue de 75 m, comprend, comme les trois autres, trois niveaux : radier sur lequel reposeront les quais; dalle mezzanine où sont aménagés la billetterie et les locaux d'exploitation; dalle intermédiaire sur laquelle sont construits les locaux techniques; dalle de couverture.

« Bien qu'elles aient été conçues par des architectes différents, les quatre stations répondent toutes au même cahier des charges, poursuit Bernard Lions : des quais spacieux; une hauteur sous plafond du niveau mezzanine fortement rehaussée par rapport aux stations des lignes existantes; une ambiance lumineuse créée par l'utilisation de pierre de couleur claire en revêtement de sol et par un éclairage adapté, l'aménagement de puits de lumière et de vastes ouvertures pour faire pénétrer le soleil (stations orientées est-ouest); enfin une finition soignée, avec un recours systématique aux bétons architectoniques pour les plafonds et les façades. »

La Fourragère se distingue également sur deux autres plans : la « faille architecturale », une entaille monu-

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS LOT LA BLANCARDE

- Montant : 32 M€
- Terrassements : 110 000 m<sup>3</sup>
- Parois moulées : 10 000 m<sup>2</sup>
- Tirants : 6 400 ml
- Béton : 28 000 m<sup>3</sup>
- Coffrage : 48 000 m<sup>2</sup>
- Armatures : 2 500 t

### LE TUNNELIER GYPTIS

- Tunnelier à pression de terre
- Puissance installée : 2 800 kW
- Force de poussée : 59 460 kN
- Couple nominal : 214 t/m
- Poids du bouclier : 850 t
- Longueur du tunnelier : 75 m
- Poids du tunnelier : 1 200 t

Comme dans tout projet de ce type, le tunnelier a été baptisé. La cérémonie s'est déroulée le 17 novembre 2006. Le nom choisi, Gyptis, provient de la légende de la fondation de Massalia, au VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C.

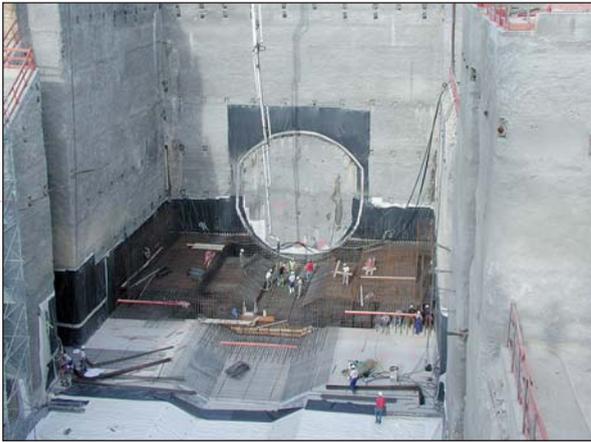


Photo 3

Un mois avant l'arrivée des premiers éléments du tunnelier, le radier de La Fourragère est en cours de ferrailage

*One month before the arrival of the first TBM elements, the invert of La Fourragère receives reinforcing bars*

mentale ménagée dans le terrain sur le côté de la station, qui accueillera les escaliers et escaliers mécaniques d'accès, et une emprise suffisamment vaste pour installer au mieux l'ensemble des équipements nécessaires pour approvisionner le tunnelier en voussoirs, en mortier, en air frais, en eau, en électricité, etc., et assurer l'évacuation de l'air vicié, des eaux d'exhaure et surtout des déblais. Provisoirement stockés dans un angle de l'emprise, ceux-ci sont évacués quotidiennement par des semi-remorques tandis que d'autres camions alimentent le chantier en voussoirs, en éléments préfabriqués de la station, etc.

Chaque jour, le chantier suscite ainsi quelque 300 allers-retours de semi-remorques, mais ceux-ci n'interfèrent nullement avec la vie du quartier puisque la DDE a autorisé le groupement à emprunter le tronçon de la L2 qui jouxte le chantier et n'est pas encore mis en service (photo 6).

## ■ En plein tissu urbain

À La Blancarde, dernière station avant le raccordement à la ligne existante, l'expression « tissu urbain » prend tout son sens. C'est là, à la hauteur de la gare SNCF du même nom, en bordure des voies du Paris-Vintimille et au point de rencontre de l'avenue Foch, montant du centre-ville et des boulevards Chave et



Photo 4

Deux BRH et une pelle en action pour la phase terrassement

*Two hydraulic rock breakers and an excavator in action for the earthworks stage*



Photo 5

Front du terrassement entre les pieux de la paroi parisienne à La Fourragère. Le nombre d'impacts du marteau du BRH est un indice éloquent de la dureté des terrains rencontrés

*Earthworks face between the piles of the Paris-type retaining wall at La Fourragère. The number of rock breaker hammer impacts is a significant to the hardness of the ground encountered*



Photo 6

La Fourragère en novembre 2007. La dalle mezzanine est partiellement coulée. À gauche s'esquisse la faille architecturale réservée pour l'accès. Sous la flèche de la grue dédiée à l'approvisionnement du tunnelier, la grue de stockage des voussoirs et la centrale à mortier

*La Fourragère in November 2007. The mezzanine slab is partially poured. On the left emerges the architectural fault reserved for access. Under the boom of the crane dedicated to TBM supply, the segment storage crane and the mortar mixing plant*

## Prolongement de la ligne 1 du métro : une première au tunnelier à Marseille



Photo 7

Été 2005. Les dalles du boulevard Louis Frangin et du tramway surplombent la fouille de la station et du parking de La Blancarde, dont le terrassement n'est pas encore terminé

*Summer of 2005. The slabs of boulevard Louis Frangin and the tramway overhang the excavation of La Blancarde station and parking lot, for which the earthworks are not yet completed*



Photo 8

Novembre 2007. Les ouvrages de surface de La Blancarde ont pris forme et le tramway circule. À 20 m de profondeur, le tunnelier vient d'arriver, mais il reste encore six à sept mois de travaux de gros œuvre

*November 2007. The surface structures of La Blancarde have taken shape and the tramway is running. At a depth of 20 m, the tunnel boring machine has just arrived, but there are still six or seven more months of structural works*



Louis Frangin, qu'est implanté le « pôle d'échange » de La Blancarde, autrement dit le nœud de raccordement du métro en construction, des lignes de tramway T1 (Les Caillols-Noailles) et T2 (La Blancarde-Euroméditerranée), sans oublier les lignes d'autobus. Dans cette zone où s'entremêlent en mailles serrées axes de communication et constructions, le marché attribué au groupement mené par GTM Génie Civil et Services porte sur la réalisation, sur une emprise de seulement 6000 m<sup>2</sup>, d'une station de tramway, de la station de métro et d'un parking souterrain attenant de 350 places sur six niveaux plus deux plateaux au-dessus de la station. Ce programme « trois en un » a été rendu doublement complexe par le planning, car les ouvrages du tramway devaient être livrés avant la fin 2005, mais aussi par l'imbrication de ces ouvrages qui surmontent la station, la ligne de tramway suivant le boulevard avant de le franchir par-dessous et de poursuivre son chemin sous les voies de chemin de fer en direction des Caillols.

Lancé en 2004, le chantier a commencé par la démolition de bâtiments existants, suivie de fouilles archéologiques. En avril 2005, la réalisation s'est poursuivie avec l'exécution en paroi moulée d'une « boîte » de 90 m de long sur 45 m de large et profonde de 25 m réalisée en co-traitance par Spie Fondations. Puis les terrassements de la plus importante fouille urbaine de

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maître d'ouvrage**

Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM)

#### **Conducteur d'opération**

Mission grand projet Métro Tramway (MMT)

#### **Maître d'œuvre**

SMM filiale de Semaly (groupe Egis) mandataire d'un groupement constitué de quatre architectes (M<sup>me</sup> Vezzoni; MM. Amédéo, Fayel et Averous), d'un BET pour les VRD (Egis Aménagement) et d'un communicant (L & O) auquel est associé le sous-traitant Arcadis pour la partie géotechnique

#### **LOT TUNNEL, LA FOURRAGÈRE, PUIITS EN INTERSTATION ET PARKING**

#### **Groupement d'entreprises**

GTM Génie civil et Services (mandataire), Chantiers Modernes Sud, Campenon Bernard Méditerranée, Campenon Bernard TP (VINCI Construction France); Spie Batignolles TPCI

#### **LOT LA BLANCARDE**

#### **Groupement d'entreprises**

GTM Génie civil et Services (mandataire), Chantiers Modernes Sud, Campenon Bernard Méditerranée (VINCI Construction France); Spie Batignolles TPCI; Spie Fondations

Marseille ont pris la relève en septembre 2005, concentrés sur la partie de l'emprise où devait commencer au plus vite le génie civil des dalles du tramway et du boulevard (photos 7 et 8).

### ■ Un voile central de 1 m de large sur 25 m de haut

« 100 000 m<sup>3</sup> de matériaux, dont un volume important de poudingue, comme à La Fourragère, ont été terrassés avant que soient réalisés les poteaux de fondation », indique Philippe Idrac, le directeur du chantier (Chantiers Modernes Sud).

Fin février 2006 ont été coulés les premiers bétons, soit

le radier puis le voile central large de 1 m et haut de 25 m qui sépare le parking de la station. Les travaux ont été réalisés en deux postes avec un effectif allant jusqu'à plus de 150 personnes au plus fort de l'activité. Étant tributaires de l'ouverture de la ligne de tramway, en juin 2007, et du parking, en décembre 2007, les travaux ont été réalisés à un rythme élevé (20 000 m<sup>3</sup> de béton en 10 mois) en faisant une large place à la préfabrication (poutres précontraintes et dalles collaborantes).

Dans la station, les équipes du tunnelier ont réalisé l'aménagement des voûtes parapluie côté Fourragère et côté Timone.

« Après l'arrivée du tunnelier, le 14 novembre dernier, le creusement en direction de la Timone ne pourra pas

## De Marseille à Besançon et de l'Île-de-France à la LGV Rhin-Rhône

Héritier d'une tradition qui remonte aux années 1920, VINCI maîtrise l'ensemble des techniques de creusement (traditionnel, explosif, tunnelier) et incite ses entités au partage d'expérience au travers d'un club « travaux souterrains » créé dans les années 1980. La maîtrise technique du groupe, illustrée par le développement du système de pilotage automatisé CAP (utilisé à Marseille) est attestée par d'innombrables chantiers réalisés en France par les entreprises de VINCI Construction France et à l'étranger sous l'égide de VINCI Construction Grands Projets. Depuis qu'a commencé le chantier du métro de Marseille, les équipes de VINCI Construction France ont achevé ou poursuivent de nombreux autres projets.

En région parisienne s'est achevé au printemps 2007 le creusement du Tima (tunnel Ivry-Masséna), un ouvrage situé en bordure de la Seine non loin de la bibliothèque François Mitterrand, destiné au captage et au stockage des eaux pluviales. Réalisé au tunnelier (7,77 m de diamètre) pour le compte du Siaap, cet ouvrage de 1 860 m de longueur est raccordé à la hauteur d'Ivry au réseau d'alimentation de la Step de Valenton, qui assure le traitement des eaux récupérées avant de les rejeter en Seine.

Tandis que se poursuit l'aménagement de VL2, second tunnel de bouclage de l'A86 Ouest en Île-de-France (réalisé par le groupement Socatop), VINCI Construction France assure le pilotage et participe à la réalisation des puits d'accès de secours et de ventilation de l'ouvrage, comme il l'a fait auparavant pour VL1, baptisé Duplex, qui entrera en service début 2008. Cinq ouvrages d'une profondeur variant de 24 à 89 m et d'un diamètre de 7,30 m (à l'exception du puits Viroflay SNCF, d'un diamètre de 40 m) réalisés en traditionnel à l'abri d'un blindage de bois ou en paroi moulée selon la configuration du terrain, sont ainsi en cours d'aménagement entre Pont Colbert (Versailles) et l'échangeur avec l'A13, s'ajoutant aux quatre ouvrages réalisés pour VL1.

En région a été livré le tunnel du Bois-de-Peu, double tube de 520 m de longueur et d'une section de 100 m<sup>2</sup> implanté sur le contournement autoroutier de Besançon – un ouvrage creusé en traditionnel et à l'explosif dans un terrain particulièrement difficile comprenant 18 profils géologiques différents, du calcaire aux marnes. Dans l'Est de la France, au sud-ouest de Belfort, VINCI Construction France prend enfin part au creusement à l'explosif du tunnel de Chavannes. Attaqué simultanément sur les fronts est et ouest, cet ouvrage de 1 750 m de long fait partie du lot C1 de la LGV (ligne à grande vitesse) Rhin-Rhône, actuellement en chantier entre Dijon et Mulhouse.

Prolongement de la ligne 1 du métro : une première au tunnelier à Marseille



Photo 9

14 novembre, 0h45 : Gyptis arrive à La Blancarde. Il ne reste plus que 400 m à creuser  
 14 November, 0.45 am : Gyptis arrives at La Blancarde. Only 400 metres remain to be dug

► reprendre avant trois semaines environ, indique William Ibanez, conducteur de travaux (Spie Batignolles TPCI), le temps de mettre la machine en position d'attaque sur son nouveau front et de construire le "faux tunnel" sur lequel la machine prend appui pour forer les premiers mètres de la galerie. Après cela, il ne restera au tunnelier que 400 m à creuser avant d'achever son parcours dans le puits Saint-Jean-du-désert, où s'opérera la jonction avec l'arrière-gare de la Timone. Dans la station pourront alors démarrer les ultimes travaux de génie civil – aménagement des murs de quai, construction de la dalle mezzanine en sous-œuvre et des cages d'ascenseurs, qui dureront encore six à sept mois ».

Sur la place de la gare de La Blancarde, la nouvelle station se fait discrète sous la dalle de couverture fraîchement coulée. Pour autant, les travaux ne sont pas totalement terminés car un bâtiment R + 6 dont les aciers sont d'ores et déjà en attente couronnera à terme la structure (photo 9). ■

**ABSTRACT**

**Extension of metro line 1 : a first for a tunnel boring machine in Marseille**

Various authors

Since the summer of 2005, the personnel of VINCI Construction France have been working on the construction of two stations and the tunnel extending line 1 of the Marseille metro, which will put the La Fourragère district, in the east of the city, less than a quarter-hour away from the Vieux-Port district in 2009. Performed by tunnel boring machine, this project is also the first to use this technique in a city in which, because of the heterogeneous subsoil, traditional tunnel driving had always been preferred.

**RESUMEN ESPAÑOL**  
**Prolongación de la línea 1 del metro : una primicia mediante tuneladora en Marsella**

Autores diversos

Desde el verano de 2005, los equipos de VINCI Construction France están ejecutando dos estaciones y el túnel de prolongación de la línea 1 del metro de Marsella, que permitirá, en 2009, poner en comunicación el barrio de La Fourragère, ubicado al Este de la ciudad, con el Viejo Puerto Marítimo en menos de un cuarto de hora. Realizado mediante tuneladora, esta obra constituye además una primicia técnica en una ciudad en donde la heterogeneidad del subsuelo siempre había llevado en dar preferencia a la excavación convencional.

# Castor 2007 : un chantier discret au cœur de Paris



**Carole Palley**  
Directeur travaux  
Solétanche Bachy



**Romain Brieu**  
Ingénieur travaux  
Solétanche Bachy

**Depuis plus de 10 ans, Réseau Ferré de France entreprend la rénovation de la ligne C du RER. Ces travaux sont chaque année concentrés sur quelques semaines et impliquent une organisation sans faille pour être menés à bien en temps et en heure sans perturber les riverains.**

Les ouvrages du tronçon de la ligne du RER C situé entre les gares du Musée d'Orsay et de Paris Austerlitz ont été mis en service en 1900 et accueillent aujourd'hui un important trafic de trains de banlieue. Située en bords de Seine, parfois à faible profondeur et longue de 8 km, cette partie a subi et continue de subir de nombreuses avaries qui doivent être réparées pour maintenir le niveau de performance de la ligne. La rénovation des ouvrages a débuté en 1996 et les travaux sont programmés jusqu'en 2017. La solution du renforcement en plusieurs étapes a été retenue et chaque été une partie des travaux baptisés « Castor » est réalisée.

En 2007, la SNCF, mandatée par RFF, a confié la rénovation d'une partie du tunnel au groupement Solétanche Bachy (mandataire) – Spie Fondations. Ce marché comprend le renforcement des fondations par jet grouting et des travaux de voies sur la partie de la ligne située entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame et de Paris Austerlitz (photos 1 et 2).

## ■ Travaux à réaliser

Ces travaux représentent environ 4000 m de colonne de jet grouting et sont divisés en deux lots :

- le lot A, du pont Petit Pont au pont de l'Archevêché comprend 626 colonnes, sur 252 m, réparties comme suit :
  - > 181 colonnes de jet en piédroit à environ 4,70 m de profondeur sous la maçonnerie, et inclinées de 20°,
  - > 445 colonnes en radier sur quatre files à une profondeur de 3,50 m sous la maçonnerie ;
- le lot B, du pont de la Tournelle au pont de Sully prévoit 325 colonnes, sur 126 m, réparties comme suit :



Photo 1  
Installation extérieure  
External installation



Photo 2  
Vue du tunnel  
View of the tunnel

## Castor 2007 : un chantier discret au cœur de Paris

Photo 3

Foreuses  
Drilling machines



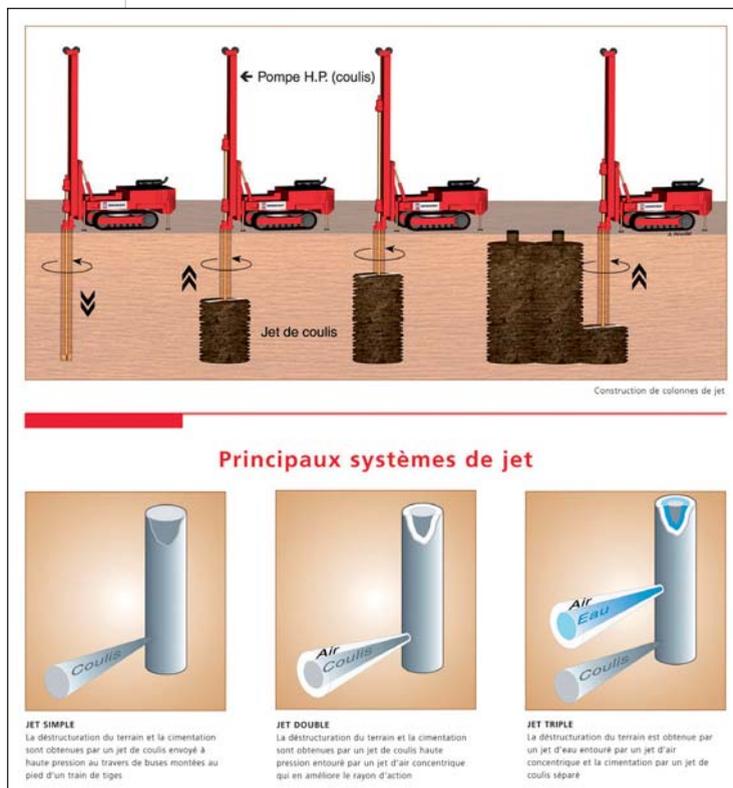
Photo 4

Silos à pulvérulents  
et barge à ciment  
Powder product silos and  
cement barge



Figure 1

Le jet grouting  
Jet grouting



- > 103 colonnes de jet en piédroit, à une profondeur de 5,50 à 8,05 m sous la maçonnerie et inclinées de 20°,
- > 222 colonnes en radier sur quatre files à une profondeur de 3,50 m sous la maçonnerie.

### ■ Organisation du chantier

#### Gestion du temps

Cette ligne est empruntée par 450000 voyageurs en moyenne par jour et un dispositif de remplacement des moyens de transport n'est viable que pendant l'été, au moment où le trafic est le plus calme. Si le projet s'étale sur cinq mois, les travaux doivent être réalisés pendant les 6 semaines de suspension de trafic, du 16 juillet au 25 août, ce qui implique un planning strict et un rythme de travail soutenu :

- installation du chantier du 2 mai au 13 juillet : préparation du tunnel, des équipements, des trains de travaux et aménagement des quais de Seine ;
- réalisation des colonnes de jet grouting du 18 juillet au 14 août ;
- nettoyage du 15 août au 17 août ;
- repliement général du 15 août à fin septembre.

En marge de ces quatre étapes, les travaux de dépose, de renouvellement et de restitution des voies occupent deux semaines de travail.

#### Moyens mis en œuvre pour le jet grouting

Face à l'ampleur des travaux et aux délais très courts imposés, le groupement a rassemblé près de 300 personnes réparties sur tous les postes : encadrement, ateliers de forage, mécaniciens, électriciens, nettoyage, maçonnerie, évacuation des spoils...

Cette force de travail a œuvré 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 selon le mode de fonctionnement suivant :

- deux postes de 10 heures pour la production suivis de 4 heures pour la mise en place des barres d'ancrages, les sondages et le nettoyage ;
- production : 10 h - 20 h - 20 h - 6 h (soit 20 heures sur 24) ;
- horaires de nettoyage : 6 h - 10 h (soit 4 heures) ;
- fonctionnement en 4/2 pour l'ensemble du personnel (4 jours de travaux suivis de 2 jours de repos).

D'importants moyens matériels ont été mis au service de ces équipes :

- 7 foreuses thermiques type Hütte 505, Klemm 804, SM 305, avec équipement antipollution et une foreuse électrique (photo 3) ;
- 3 sondeuses type CMV 420, MC 600 pour la réalisation des préforages en radier et des carottages ;

- 6 centrales de fabrication de coulis automatique type Techniwell ou Soilmec;
- 12 silos à pulvérulents d'une capacité de 50 t;
- 1 silo à eau d'une capacité de 50 m<sup>3</sup>;
- 7 pompes à haute pression 7T450;
- 15 pompes HP50;
- 8 barges d'évacuation des spoils;
- 2 barges à ciment.

### Les contraintes du lieu

La mise en place des installations de chantier étant impossible à l'intérieur du tunnel, l'installation à l'extérieur sur les quais de Seine a été décidée.

Si les usagers courants de la ligne C sont moins nombreux en juillet et en août, les touristes et les vacanciers affluent dans Paris en particulier sur les bords de Seine : la discrétion est donc de rigueur pour préserver la tranquillité des lieux.

Le matériel extérieur comme les pompes ou les compresseurs a été équipé en conséquence de capots insonorisants et les opérations d'approvisionnement et d'évacuation sont effectuées en majeure partie par voie fluviale pour limiter à la fois le bruit et le trafic routier. L'évacuation des déchets liquides se fait par pompage, à l'aide de pompes de type HP 50. Ce spoil est acheminé via un à deux bacs de reprise vers les barges situées à quai à proximité du pont de Saint-Michel pour le lot A et entre le pont de Sully et le square Tino Rossi pour le lot B.

Les barges étant trop éloignées du quai cette année, les déchets solides suivent quant à eux, une autre route : ils sont stockés en tunnel dans des big-bags puis évacués de nuit à l'aide de pelle et de toboggan placés au niveau des baies d'aération vers des bennes ou des trains travaux (photo 4).

### ■ La réalisation des colonnes de jet grouting

Le procédé jet grouting consiste à déstructurer un sol en profondeur à l'aide d'un jet haute pression (plusieurs centaines de bars) dans un forage et à mélanger le sol érodé avec un coulis autodurcissant pour former des colonnes, panneaux et autres structures dans le terrain.

Pour ce chantier, le groupement a choisi d'appliquer la technique du jet simple (figure 1).

### Préforages

La maçonnerie en piédroits et en radier a d'abord fait l'objet de préforages. En piédroit de Ø 180 à Ø 200 mm, ils sont réalisés de nuit durant la phase de

préparation de chantier avec une carotteuse diamant (étape sous-traitée à DSD). Les préforages en radier de Ø 200 mm sont réalisés durant la phase Castor 2007, à partir d'une sondeuse équipée d'un outil type tricône (étape réalisée par le groupement).



### Colonnes

Le forage est réalisé à l'aide d'outils type trilame d'un diamètre de 125 mm. Les colonnes de jet, d'un diamètre de 1,30 m minimum, remontent dans l'épaisseur de la maçonnerie de 80 cm en piédroit et de 30 cm en radier au minimum.

La réalisation des colonnes est phasée en primaire-secondaire-tertiaire (une colonne sur trois) et le processus est suivi à l'aide du système d'enregistrement des paramètres de forage et de jet « LIM ».

Les terrains à traiter sont composés essentiellement de graviers et de sables pour le lot A. Concernant le lot B, nous retrouvons la même géologie, ainsi que des couches d'argile situées entre 4,00 - 5,50 m et 7,00 - 8,50 m.

La réalisation du jet grouting dans ces couches d'argile nécessite une procédure particulière (photo 5).

### Barres d'ancrage

La mise en place de barres d'ancrage permet d'améliorer la résistance aux sous-pressions en cas de crue (travail

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage**  
Réseau Ferré de France

**Maître d'œuvre études et réalisation**  
SNCF

**Entreprises**  
Groupement Solétanche  
Bachy (mandataire) et Spie  
Fondations

Photo 5

Réalisation d'une colonne de jet en piédroit

*Execution of a jet grouting column on a side wall*

Castor 2007 : un chantier discret au cœur de Paris

en traction). Les barres sont mises en œuvre uniquement sur les colonnes de jet grouting en radier. Elles doivent impérativement être mises en place dès que la colonne de jet est réalisée.

**Contrôles**

Outre les contrôles courants (densité, résistance...), la réalisation des colonnes de jet grouting implique l'emploi d'autres types de contrôle :

- pour le diamètre des colonnes de jet :
  - > contrôle par cylindre électrique, réalisé par EDG, filiale de Solétanche Bachy (cf. encadré),
  - > contrôle par sondage carotté;
- pour le mouvement du tunnel en phase de production :
  - > suivi géomètre de la SNCF,
  - > suivi des mouvements au niveau des foreuses à l'aide de lasers durant toute la production. ■

**Le contrôle par cylindre électrique**

EDG (Européenne de Géophysique) a mis au point et breveté une méthode pour déterminer *in situ* le diamètre des colonnes de jet grouting, sans avoir à les extraire du sol. Cette méthode repose sur l'utilisation du procédé « Cylindre électrique® »

Immédiatement après l'exécution de la colonne, un tube non métallique est foncé dans l'axe de la colonne. Il est possible alors de procéder aux mesures de résistivité du milieu, à l'aide des électrodes introduites dans le tube métallique.

Par comparaison avec les mesures préliminaires qui ont servi à définir les résistivités du sol en place, il est possible de définir la géométrie de la colonne, car le coulis de ciment a une résistivité très basse par rapport aux sols habituels.

Après réalisation de l'ensemble des mesures dans la colonne, un logiciel permet de réaliser l'interprétation des mesures par la méthode d'inversion. La précision obtenue sur les diamètres de colonnes est de plus ou moins 10 % (figure 2).

**ABSTRACT**  
*Castor 2007 : a discreet project in the heart of Paris*

C. Palley, R. Brieu

For more than 10 years, Réseau Ferré de France has been undertaking renovation of line C of the "RER" rapid transit system. These works (underground tunnel structures) are each year concentrated into a few weeks, implying impeccable organisation to be completed right on time without disturbing the frontage residents. Each summer part of these so-called "Castor" (beaver) works are performed. In 2007, the SNCF, mandated by RFF, entrusted the renovation of part of the tunnel to the consortium formed by Solétanche Bachy (leader) and Spie Fondations. This contract covers foundation reinforcement by jet grouting and track work on the part of the line located between Saint-Michel and Austerlitz.

**RESUMEN ESPAÑOL**  
*Castor 2007 : una obra discreta en pleno centro de París*

C. Palley y R. Brieu

Desde hace más de 10 años, Réseau Ferré de France está realizando la renovación de la línea C de la RER. Estos trabajos (subterráneos y estructuras) se concentran cada año en algunas semanas y presuponen una organización sin fallos para poder llevarse bien a cabo acorde a los plazos y sin perturbar el vecindario. Cada año, se ejecuta una parte de los trabajos denominados « Castor ». En 2007, la SNCF, que actúa en virtud de un mandato de RFF, ha adjudicado la renovación de una parte del túnel a la agrupación Solétanche Bachy (encargado) – Spie Fondations. Este contrato incluye el refuerzo de las cimentaciones mediante jet grouting así como los trabajos de vías en la parte de la línea ubicada entre Saint-Michel y Austerlitz.

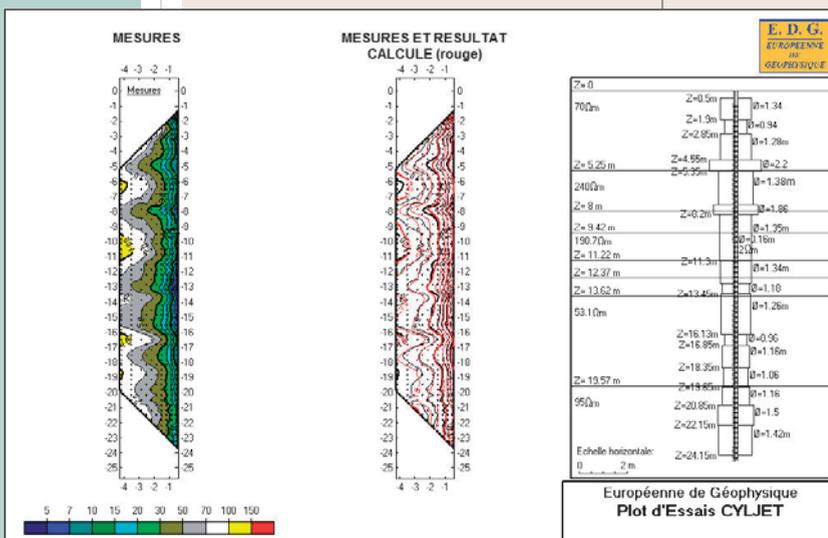


Figure 2  
Exemple d'interprétation d'une colonne de jet grouting par la méthode du cylindre électrique  
Example of interpretation of a jet grouting column by the electric cylinder method

# Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

**Le viaduc de Woippy sur l'autoroute A4 a été réalisé en 1974-1975.**

**La construction des tabliers a été faite en mettant en œuvre plusieurs procédés de construction avec des parties d'ouvrage exécutées en encorbellement coulées avec des équipages mobiles et d'autres en voussoirs préfabriqués posés à l'avancement avec mât de haubanage ou sur cintre.**

**Les hypothèses de calculs de l'époque ont conduit à sous-estimer certains effets entraînant des ouvertures dans des joints entre voussoirs préfabriqués.**

**Il est apparu nécessaire au maître d'ouvrage de renforcer le viaduc en mettant en œuvre une précontrainte additionnelle constituée de trois paires de câbles 19T15S et de profiter de cette opération pour changer les appareils d'appuis en néoprène fretté, les joints de chaussée, refaire l'étanchéité et la couche de roulement des tabliers.**

**Les contraintes de circulation ont imposé une gestion précise des voies de circulation et des interventions sur le tablier.**

## ■ Présentation de l'ouvrage existant

### Construction, site géométrie (photo 1)

L'ouvrage situé à Woippy en Moselle est de type non courant avec un caisson en béton précontraint, de hauteur variable suivant les travées. Il permet à l'autoroute A4 de franchir des voies ferrées, le triage de Woippy et la RD 953.

Il comporte deux tabliers indépendants, avec un tracé en plan courbe de rayon  $r = 1\,100$  m environ.

## Travures - Chaussées

Chaque tablier comporte sept travées dont les portées – de la culée C0 (côté Paris) à la culée C7 (côté Strasbourg) – sont les suivantes :

- tablier nord : 24,70 m - 33,52 m - 66,76 m - 102,11 m - 59,255 m - 39,30 m - 24,70 m;
- tablier sud : 25,20 m - 31,58 m - 69,86 m - 102,16 m - 61,95 m - 39,30 m - 25,20 m.

En profil en travers et par tablier :

- la largeur hors tout est de 14,40 m;
- deux voies avec BAU sont actuellement ouvertes à la circulation.

## Les appuis

Chaque tablier repose sur huit appuis repérés C0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, C7, de Paris vers Strasbourg.

Les piles P1, P2, P5, P6 dites « courantes », sont constituées d'un voile béton armé de longueur 7,60 m, d'épaisseur 0,80 m et d'une hauteur de 8 m à 11 m selon les piles.

Les piles P3 et P4 qui encadrent la travée centrale de 102 m comportent un fût en béton armé, de forme oblongue, de dimensions suivantes : longueur 6,60 m environ, épaisseur 2,50 m et hauteur de 7,25 m à 8,25 m selon les piles.

Les deux culées (C0, C7) reposent sur des chevêtres fondés superficiellement et « perchés » sur les remblais d'approche.

## Les appareils d'appuis

En tête des appuis, les deux tabliers reposent sur des appareils d'appuis de type néoprène fretté constitués :

- d'une seule plaque de néoprène sur les culées (C0 et C7) et les piles P1;

**Jean-Jacques Prodent**  
Directeur agence  
Lorraine  
demathieu & bard

**Luc Brunel**  
Directeur de travaux  
demathieu & bard

**Jacques Mossot**  
Directeur scientifique  
demathieu & bard

**Claude Néant**  
Président – Directeur  
général  
Étic

**Denis Weisse**  
Directeur technique  
TSV

**Adrien Loiseau**  
Ingénieur-conseil  
Lux Ouvrage d'Art

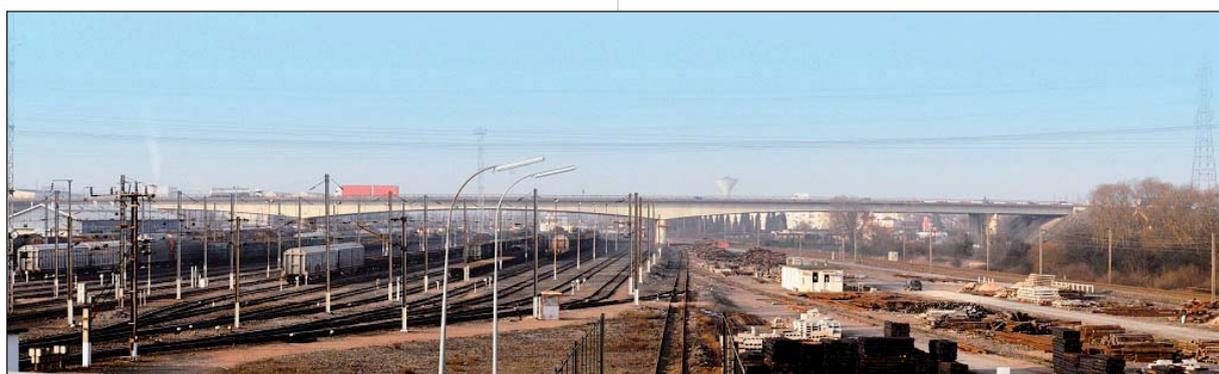


Photo 1

Vue d'ensemble du viaduc au-dessus des voies de la gare de triage de Woippy

General view of the viaduct above the tracks of the Woippy marshalling yard

## Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy



Photo 2

Trains travaux sous le viaduc pendant le vérinage du tablier

Work trains under the viaduct during deck jacking



- de deux plaques jointives sur les piles « courantes » (P2, P5, P6);
- de quatre plaques jointives sur les piles P3 et P4 encadrant la travée centrale.

Au cours des inspections détaillées en 2000 et fin 2005, il a été constaté :

- une très forte dégradation de tous les appareils (forte distorsion, corrosion des frettes, notamment);
- une importante corrosion des plaques métalliques de calage de construction;
- que les appuis glissant sur les culées, très dégradés, n'étaient plus en état de jouer leur rôle;
- que sur la culée C0 et pour les deux tabliers, les appuis étaient excentrés par rapport aux âmes des caissons (ils ont été implantés au droit des zones de vérinage vers l'intérieur des tabliers).

### Travaux de confortement réalisés avant 2000

Les tabliers ont fait l'objet de travaux de confortement en 1989, concernant des renforcements des premiers joints de voussoirs à proximité des quatre culées.

### Les tabliers

Les tabliers réalisés en 1974 et 1975, de type mono caisson en béton précontraint, sont constitués de voussoirs de hauteur variable en fonction des travées :

- travées C0/P1, P1/P2, P5/P6 et P6/C7 : hauteur constante égale à 2,55 m;
- travées P2/P3 et P4/P5 : hauteur variant de 2,55 m (au droit de P2 et P5) à 5,20 m (au droit de P3 et P4);
- travée centrale P3/P4 : hauteur variant de 5,20 m sur appuis à 2,55 m à la clé;
- épaisseur des âmes : 0,40 m;
- épaisseur du hourdis supérieur : 0,25 m en partie centrale; 0,208 m à l'extrémité des encorbellements;

- épaisseur du hourdis inférieur : 0,15 m sauf sur 1,25 m de part et d'autre des appuis P3 et P4 : 0,70 m.

Pour des problèmes de délais lors de la construction de l'ouvrage, et notamment de disponibilité du mât de haubanage que l'entreprise avait envisagé d'utiliser pour construire une partie du tablier à l'avancement, plusieurs techniques et modes de mise en place ont été retenus par cette dernière :

- tous les voussoirs sur piles ou sur culées ont été coulés en place, sur des longueurs variables suivant les appuis;
- la travée centrale (P3/P4) et les demi-travées adjacentes (P2/P3 et P4/P5) ont été réalisées par encorbellements successifs avec des équipages mobiles;
- le fléau sur P5 jusqu'au clavage avec le fléau sur P4 a été coulé par voussoirs sur cintre;
- les travées C0/P1, P1/P2, P5/P6, P6/C7 et la demi-travée P2/P3 ont été réalisées avec des voussoirs préfabriqués mis en place sur cintre entre C0 et P1 et à l'avancement à l'aide d'un mât de haubanage provisoire dans les autres parties.

La précontrainte mise en place dans les deux tabliers est intérieure au béton. Elle est constituée :

- de câbles de fléau de type 12T13;
- de câbles de continuité de type 12T13.

L'ouvrage a été dimensionné suivant les règles CCBA 68 et IP1 (Instruction provisoire n° 1 sur l'emploi du béton précontraint de 1979).

Il a été calculé sans tenir compte des effets liés au retrait, fluage et gradient thermique. Les textes réglementaires relatifs à la prise en compte de ces efforts ont été publiés après le début des travaux (circulaire du 2 avril 1975). Cela s'est traduit par l'ouverture et le battement de joints de voussoirs insuffisamment comprimés constatés lors des inspections de l'ouvrage. Une première intervention consista à mettre en œuvre des clavettes expansives type Freyssinet dans les joints de hourdis supérieur concernés par ce manque de compression, ou à réaliser un brêlage métallique.

L'ensemble de ces constatations avait abouti à une cotation IQOA 3 de l'ouvrage.

L'étude préliminaire EPROA dans le cadre d'un renforcement délicat d'ouvrages d'art a été réalisée par Quadric conformément au livre « Maintenance et réparation des ponts », notamment le chapitre 3 « Bases du projet de réparation ou de renforcement » de J.-A. Calgaro et le chapitre 4 « Projet de renforcement ou de réparation des ponts en béton » de D. Poineau. Cette étude a été instruite et validée par l'autorité concédante.

Selon l'EPROA les travaux de réparation consistent à :

- mettre en place dans chaque tablier une précontrainte longitudinale additionnelle extérieure à la structure et ancrée aux extrémités dans des massifs en béton armé;
- remplacer les appareils d'appuis et les joints de chaussée;
- réaliser des travaux connexes (assainissement, superstructures).

L'avant-projet de renforcement APROA a été établi par le maître d'œuvre SNCF.

### ■ Description des travaux de réparation à réaliser

Comme le niveau de service à terme de l'ouvrage n'était pas garanti, notamment dans le cadre d'une future mise en circulation à 2 x 3 voies des tabliers, Sanef a décidé d'engager des travaux de renforcement et de réhabilitation de l'ouvrage. À savoir :

- rétablir le niveau de service de l'ouvrage tant pour 2 x 2 voies que pour 2 x 3 voies;
- fermer et rétablir la continuité des joints de voussoirs du hourdis supérieur pour assurer la durabilité de la chape d'étanchéité et éviter des poussées au vide entre joints de hourdis;
- remettre à niveau les équipements et les superstructures défaillantes : remplacement des appuis, mise à niveau des équipements de sécurité et de l'assainissement du viaduc, pose d'écrans de sécurité au droit des voies ferrées grandes lignes et électrifiées;
- réhabiliter les bétons endommagés;
- mettre à niveau, avec les textes en vigueur en matière de CMSPS, les équipements spécialisés (trappes d'accès, éclairage des caissons, repérage...).

### Renforcement des tabliers

Les études menées en phase de conception ont montré l'intérêt de mettre en place une précontrainte additionnelle filante d'une extrémité à l'autre de chaque tablier. Celle-ci, pour chaque tablier et à proximité de chaque âme, se décompose en :

- deux câbles 19T15S disposés entre les entretoises d'ancrage à créer à l'avant des voussoirs sur culées;
- un câble 19T15S disposé entre les entretoises d'ancrage à créer à proximité immédiate des appuis P1 et P6.

Pour assurer les variations de tracés tout au long des tabliers, les déviations sont réalisées d'une part au droit des voussoirs sur pile (VSP), et d'autre part, par l'intermédiaire de déviateurs mis en place dans les trois travées centrales de grande longueur.

Des massifs d'ancrage sont à mettre en œuvre à l'avant

des culées C0 et C7 et à proximité immédiate des piles P1 et P6, côté culées. Ils sont intégralement implantés à l'intérieur des caissons; seuls les ancrages des barres de précontrainte transversale sont visibles depuis l'extérieur.

Les massifs d'ancrage à l'avant des culées ont une longueur de 2,30 à 2,50 m et une épaisseur de 1,00 m, avec une entretoise buton en béton armé de 0,20 m d'épaisseur au-dessus des hourdis inférieurs et deux butons en béton armé de 0,50 m de hauteur situés au-dessous du hourdis supérieur.

Les structures latérales en béton armé sont destinées à recevoir les ancrages de deux câbles de précontrainte additionnelle de type 19T15S. Elles sont rendues solitaires des âmes existantes par des barres de précontrainte et par scellement d'aciers passifs.

Le bétonnage des massifs d'ancrage est réalisé depuis la plate-forme autoroutière à partir de forages réalisés préalablement dans le hourdis supérieur des caissons. Le béton utilisé est de type C 40/50 de classe d'environnement XF3.

Les massifs d'ancrage à proximité des piles P1 et P6 ont une longueur de 1,75 m et une épaisseur de 1,00 m complétés par des butons inférieurs et supérieurs (2).

Des déviateurs sont disposés dans les caissons en fonction des longueurs de travée. Ils jouent le rôle, d'une part, d'« écarteur » (déviations en plan) du fait du tracé en plan en courbe des deux tabliers, et d'autre part de « déviateur » (déviations dans la hauteur).

Ce sont des structures latérales en béton armé de 1 m de longueur sur 0,50 m d'épaisseur.

Les efforts de déviation étant faibles, il n'est pas nécessaire de les ancrer par des barres de précontrainte.

Les déviations au droit des voussoirs sur piles sont également réalisées par les structures existantes à l'intérieur des caissons, constituées des entretoises disposées au droit de chaque pile. Ainsi, des carottages de diamètre adapté, sont exécutés dans ces structures. Puis un tube déviateur métallique galvanisé, comprenant à chaque extrémité un évasement, est inséré dans chaque forage; il est ensuite liaisonné à la structure et bétonné depuis l'intérieur des caissons.

Les câbles de précontrainte additionnelle retenus sont de type 19T15S. Leur nombre est de trois par âme, deux étant mis en place entre les massifs d'ancrage extrêmes, proches des culées, et un entre les massifs d'ancrage proches des piles P1 et P6.

La longueur totale des deux câbles les plus longs est d'environ 350 m. Celle du câble le plus court est légèrement supérieure à 305 m.

Chaque câble est inséré dans un tube de protection étanche de type PEHD série PN10 et mis en tension depuis ses deux extrémités, à l'aide de vérins mis en

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maître d'ouvrage

Sanef

### Maître d'œuvre

Inexia

### Entreprises

Groupement demathieu & bard - Étac - TSV

### Bureau d'études

Lux Ouvrage d'Art

### Contrôle externe des études

demathieu & bard - Direction scientifique

### Instrumentation de l'ouvrage

Cete de l'Est

## Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Précontrainte additionnelle (19T15) : 90534 kg
- Barres de clouage des massifs Ø 50 : 4197 kg (152 barres)
- Béton pour massifs d'ancrage et déviateurs : 177 m<sup>3</sup>
- Armatures HA : 22076 kg

## Coût de l'opération (pour les deux tabliers)

- Marché de base valeur juin 2006 : 4022000 €/HT

place à l'arrière des massifs d'ancrage; il est ensuite injecté à l'aide d'un produit souple (cire pétrolière).

Pour limiter les vibrations dans les câbles extérieurs au béton, engendrées par les circulations routières, il convient de mettre en œuvre des dispositifs « antivibratoires » en profilés métalliques, disposés tout le long des câbles suivant un pas de 20 m environ.

**Remplacement des appareils d'appuis**

Le remplacement des appareils d'appuis nécessite le vérinage des tabliers, prévu après les phases de renforcement des tabliers par précontrainte additionnelle.

Des appareils d'appuis « glissants » (inox-téflon) de type néoprène fretté ont été préférés aux appareils d'appuis à pots, compte tenu du manque d'espace disponible entre le dessus du chevêtre et le dessous des tabliers.

Des platines métalliques sont prévues de part et d'autre des plaques de néoprène pour assurer une meilleure répartition des efforts.

Il n'y a pas de lignes d'appuis fixes longitudinalement. En revanche, transversalement, il y a blocage d'une des files d'appuis au droit des culées, par mise en place de taquets adaptés au droit des platines supérieure et inférieure encadrant les plaques de néoprène.

Sur la base du dimensionnement des appareils d'appuis, et notamment de leur encombrement, un relevage définitif des deux tabliers de l'ordre de 5 cm est réalisé.

**Travaux d'injection des fissures**

Un certain nombre de fissures dans les structures, essentiellement à l'intérieur des caissons a été identifié. Or, pour la bonne transmission des efforts dus à la précontrainte additionnelle et la répartition des contraintes dans les sections du tablier selon la loi de Navier, il est nécessaire d'injecter les fissures dont l'ouverture est supérieure à 0,3 mm :

- les fissures d'ouverture supérieure à 0,3 mm et inférieure à 1 mm seront injectées à la résine;
- les fissures d'ouverture supérieure à 1 mm seront injectées au coulis à base de ciment fin.

Ces opérations seront réalisées sous coupure totale des circulations routières, pendant les temps de polymérisation ou de séchage des produits injectés.

**Travaux de ragréage ou réfection des parties béton**

Comme les bétons de l'ouvrage ne souffrent pas, après 30 ans de service, de vieillissement par carbonatation, seul un traitement local par repiquage et ragréage des parties endommagées a été réalisé.

**Travaux sur les équipements**

Dans le cadre de ces travaux de réparation, ont également été prévus :

- la révision complète et la reprise partielle des BN4 y compris la longrine les supportant;
- le remplacement des joints de chaussée de type « joints à pont en porte à faux » à peigne;
- la réfection de l'étanchéité sur les deux tabliers par moyens à haute cadence et la réalisation de la couche de roulement avec incorporation préalable de bandes « répondeur Radar »;
- la mise en œuvre des dispositifs de sécurité (de type BCE) en rive des tabliers au droit des voies ferrées;
- le remplacement des glissières de sécurité (en rive intermédiaire des deux tabliers et aux extrémités de l'ouvrage);
- l'éclairage intérieur des caissons.

**■ Contraintes particulières imposées au chantier****Conditions d'accès au site**

L'ouvrage franchit principalement les voies ferrées du triage de Woippy et de la ligne principale Metz-Luxembourg. Les accès aux différents appuis, notamment la culée C0 et les piles, se font en site ferroviaire à côté de voies exploitées et en circulation. En conséquence, le chantier est soumis à autorisations délivrées par la SNCF, dans le respect des consignes de sécurité très strictes.

**Phasage des travaux**

Les travaux sont programmés sur deux années consécutives, un tablier par année sur une durée de 7 mois par ouvrage, selon un phasage et ordre d'exécution impératif. Ils comprennent notamment :

- la réalisation des trappes d'accès à l'intérieur des caissons;
- l'instrumentation et investigation de l'ouvrage;
- la dépose des câbles téléphoniques;
- le balisage des voies de circulation (une seule voie centrée sur le tablier en circulation);
- l'injection des fissures;
- la réalisation de massifs d'ancrage et déviateurs, carottages des entretoises de VSP;
- le clavage des massifs d'ancrage;
- la mise en place de la précontrainte additionnelle, la mise en tension et l'inspection des câbles,;
- la mise en œuvre de joints de chaussées provisoires;
- le remplacement des appareils d'appui;
- la préparation des appuis avant vérinage;

- la mise en place des vérins;
- le vérinage selon le phasage arrêté;
- le remplacement des appareils d'appuis;
- la réfection de l'étanchéité et de la couche de roulement en deux phases;
- le remplacement des joints de chaussée en deux phases;
- la mise en place d'équipements divers.

### Exploitation de l'autoroute

L'ouvrage est situé entre la Croix d'Hauconcourt (échangeur entre les autoroutes A4 et A31) et l'échangeur donnant accès à la zone commerciale de Semécourt. La proximité de ces deux échangeurs a imposé des règles de maintien de la circulation permettant de garantir la disponibilité des accès, en particulier de jour.

Pendant les travaux de renforcement des tabliers par précontrainte, de remplacement des appareils d'appuis, de mise en place des équipements de protection des voies ferrées, de révision des équipements de sécurité latéraux, de ragréage des parties béton endommagées, de dépose latérale des joints de chaussée, il a été décidé :

- de maintenir une seule voie de circulation, axée sur l'ouvrage lors des travaux de rebouchage des fissures et de dépose des parties centrales des joints de chaussée;
- de couper la circulation routière de nuit (de 22 heures à 6 heures) pendant la durée de polymérisation du produit d'injection;

Pour la réalisation de l'étanchéité et de la couche de roulement et la mise en place des joints de chaussée définitifs, une seule voie de circulation est maintenue, en rive extérieure ou intérieure de l'ouvrage selon la zone en travaux.

Les voies de circulation font alors l'objet d'un balisage de niveau BT4 et les modifications à opérer lors des changements de voies, lors du passage d'une phase à l'autre, se font de nuit (déplacements des BT4 et marquages au sol provisoires).

### Exploitation des voies ferrées

Les contraintes sont ici liées à l'obtention de la nécessaire neutralisation des voies ferrées du triage encadrant chaque pile, pour le montage et le démontage des échafaudages d'accès et plate-forme de travail ainsi que pour les interventions de vérinage et remplacement des appareils d'appuis.

Pour les travaux effectués à l'extérieur des caissons, depuis une nacelle à déport négatif, des interceptions de voies et des consignations caténaïres sont indispensables. Les interventions concernent les injections des



fissures, le ragréage et la réfection des bétons et la mise en place des équipements de sécurité vis-à-vis des voies ferrées.

### ■ Étude du renforcement

Le renforcement doit permettre de garantir, à partir de la date de sa réception et pour une durée de 50 ans, un état de contraintes dans l'ouvrage répondant aux critères de classe I du B.P.E.L.

### Modélisation

Le renforcement de l'état de contraintes par précontrainte additionnelle nécessite préalablement de définir un modèle de calcul dont les caractéristiques statiques se rapprochent au mieux de la situation réelle avant travaux. Pour cela, la modélisation doit intégrer l'histoire « réelle » de l'ouvrage depuis sa construction, ainsi que le vieillissement des matériaux utilisés. Ce phasage, intégré dans le modèle de calcul construit en utilisant le programme ST1 du Sétra permet d'obtenir l'image statique la plus proche de celle du tablier actuel avant travaux.

L'ouvrage ayant été construit selon des méthodes diverses :

- construction en encorbellement symétrique à partir des piles à l'aide d'équipages mobiles;
- pose de voussoirs préfabriqués sur cintre;
- construction à l'avancement avec mât de haubanage et voussoirs préfabriqués,

il est difficile de confirmer le degré de précision de la situation statique ainsi modélisée. Seul un pesage des réactions d'appui permet d'approcher l'état des sollicitations dans la structure.

Le « recalcul » montre que, dans la situation existante sous ELS rares, 50 % de la fibre inférieure de l'ouvrage est tendue, confirmant ainsi les ouvertures de joints sous trafic réel, et la nécessité du renforcement.

Photo 3

Trains de marchandises en attente sous le viaduc pendant les travaux  
*Freight trains waiting under the viaduct during the works*

Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

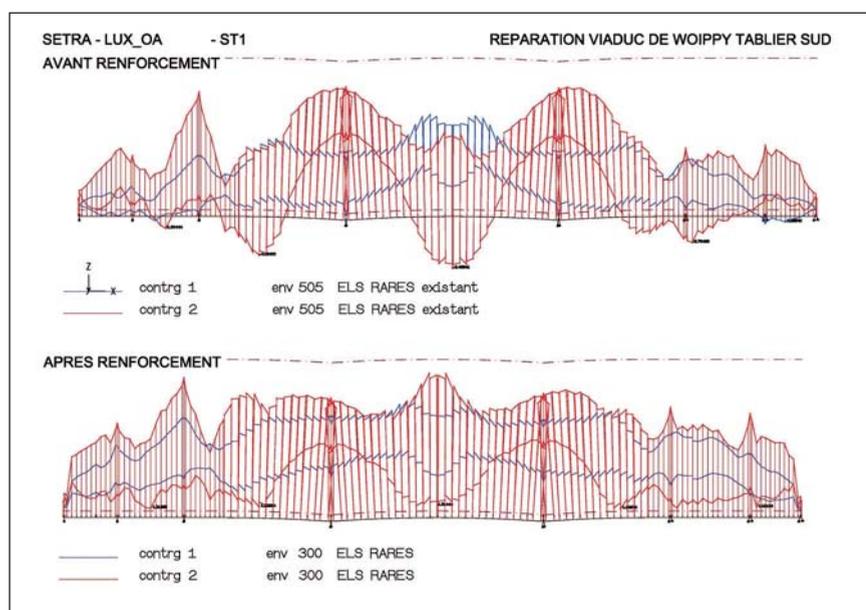


Figure 1

Courbes des contraintes dans le tablier avant et après renforcement par précontrainte additionnelle  
 Deck stress curves before and after strengthening by additional prestressing

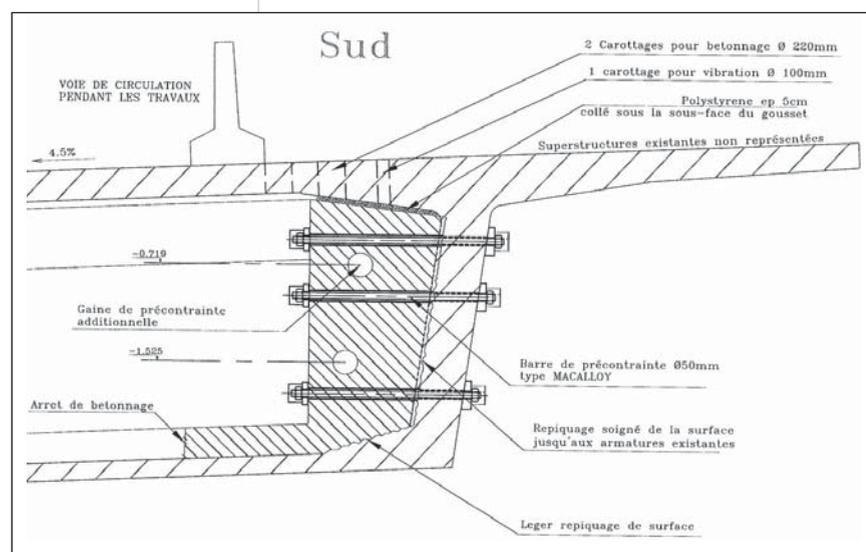


Figure 2  
 Disposition d'un massif d'ancrage proche d'une culée  
 Layout of an anchor foundation block near an abutment

La précontrainte

Le renforcement se compose de deux paires de câbles de trois unités 19T15S (soit un effort de compression total  $P_0 = 2544$  t) introduits par des massifs aux extrémités d'une part (2/3 des efforts), et à proximité des piles adjacentes aux culées d'autre part. Les câbles sont déviés sur les entretoises existantes des VSP et sur des voiles de déviation créés en travée afin d'optimiser et d'exploiter au mieux les effets statiques et hyperstatiques de la précontrainte. L'obtention des critères de la classe I, nécessite la création de cinq déviateurs dans le tablier sud et quatre dans le tablier nord. Les tracés en élévation passent par les extrêmes disponibles en utilisant ainsi la pleine capacité des unités prévues.

Le dispositif d'ancrage

Les massifs d'ancrage sont composés de blocs cloués aux âmes par des barres précontraintes de diamètre 50 mm Macalloy 1030, représentant un effort de compression de 1450 t pour 968 t à ancrer. Ces blocs sont reliés par un tirant et un buton supérieur et par une dalle de liaison inférieure. Ce système auto-équilibré permet de limiter l'introduction d'efforts parasites lors de la mise en tension dans la structure existante. La justification du fonctionnement des massifs a été faite en application de la norme NF P 95-104. Les résultats obtenus montrent une efficacité « réelle » du dispositif voisine de 97 %.

La géométrie du câblage

Toutefois la précision des calculs ne peut être efficace que si l'exploitation des données et la réalisation des travaux le sont aussi. L'exploitation informatique tridimensionnelle des tracés, avec introduction de la géométrie réelle du tablier, a permis de regrouper les tubes de déviation en trois familles, dont l'implantation se limite à un faible nombre de paramètres, limitant ainsi les risques d'erreurs et d'imprécisions. Au début des travaux, le chantier s'est ainsi aperçu que l'implantation du tablier était légèrement différente par rapport à celle indiquée sur les plans.

Le vérinage

Le changement des appuis et le relèvement du tablier nécessitent un renforcement des têtes de piles par plats collés carbone et par barres de précontrainte traversantes. La géométrie et la situation existante ne laissent que peu d'options au regard des descentes de charges très importantes (jusqu'à 2000 t/appui). Les vérifications du tablier sous vérinage, critiques sous les efforts ponctuels, ont nécessité la prise en compte des caractéristiques mécaniques réelles du béton afin d'éviter la réalisation de renforcements trop importants.

Études

- Les études comprennent (figure 1) :
- la détermination de la précontrainte longitudinale ;
  - l'étude des massifs d'ancrage en béton armé avec la diffusion des efforts de précontrainte dans ces massifs et dans le tablier.
- L'établissement de la précontrainte longitudinale requiert :
- la recherche de l'état de la structure avant réparation ;
  - la détermination des sollicitations après réparation

en vérifiant qu'elles sont bien conformes à l'objectif fixé par le marché;

- le calcul des sollicitations dans les sections instrumentées pendant les phases de mise en tension des câbles de précontrainte, d'épreuves de l'ouvrage et sous un gradient thermique;
- les réactions d'appui après réparation pour déterminer les charges de vérinage à prévoir;
- les déformées du tablier pendant les épreuves.

L'étude des massifs d'ancrage permet de déterminer :

- la précontrainte transversale de clouage de chaque massif sur l'âme du tablier nécessaire à la transmission des efforts de la précontrainte longitudinale additionnelle;
- les armatures des massifs d'ancrage pour permettre la diffusion des efforts dus à la précontrainte de clouage et ceux dus à la précontrainte longitudinale;
- les armatures de couture à prévoir entre le hourdis inférieur du tablier et le raidisseur inférieur pour vérifier la résistance du hourdis inférieur de 150 mm d'épaisseur sous les sollicitations de diffusion de la précontrainte.

### ■ Réalisation des massifs d'ancrage et déviateurs à l'intérieur du caisson

Le coffrage des éléments en béton à l'intérieur du caisson (massifs d'ancrage - butons et déviateurs) a été envisagé en coffrage traditionnel adapté sur place. En effet, eu égard :

- à la configuration intérieure du caisson (âmes inclinées, gousset sur hourdis supérieur et inférieur) de dimension variable;
- à la manutention des éléments de coffrage (approvisionnement intérieur par les trappes d'accès, déplacement entre chaque massif...);
- aux réservations à prévoir pour le passage des trompettes et des gaines longitudinales de précontrainte additionnelle, des gaines des barres de précontrainte de clouage transversal,

il n'était pas possible d'avoir recours à des panneaux de coffrage préconstitués, peu adaptés à l'ensemble de ces contraintes.

Pour permettre l'amenée du matériel dans le tablier, des ouvertures ont été faites dans le hourdis inférieur à proximité des appuis sur les culées.

Pour le bétonnage des massifs et des déviateurs, conformément au CCTP, l'entreprise avait prévu d'utiliser un béton « classique » de classe de résistance C 40/50 (40 MPa) avec un ciment CEM1 52,5 dosé à 400 kg, une granulométrie  $D_{max}$  16 mm, et un fluidifiant dosé à 1 % avec une plasticité S3. Le remplissage se fait par che-



Photo 4

Ferrailage et gaines de précontrainte dans un massif d'ancrage

*Reinforcing bars and prestressing ducts in an anchor foundation block*

minées de bétonnage créées dans le hourdis supérieur par carottages  $\varnothing$  200 pour le passage du tuyau d'une pompe à béton et carottage  $\varnothing$  100 pour le passage d'une aiguille vibrante.

Constatant le cheminement difficile du béton à travers un ferrailage important ( $250 \text{ kg/m}^3$  dans les massifs d'ancrage), les gaines de précontrainte longitudinale, de précontrainte de clouage transversal, les tiges de serrage des panneaux de coffrage – l'entreprise a proposé d'employer un béton autoplaçant, compact, répondant parfaitement aux caractéristiques exigées.

Ce produit a été élaboré par Holcim. Il est de la classe de résistance C40/50, avec un ciment CEM1 52,5, dosé à 420 kg, une granulométrie  $D_{max}$  8 mm, et une plasticité S5 obtenue avec un fluidifiant réducteur d'eau FH/R Glenium 27 dosé à 1,4.

Ce béton autoplaçant a permis d'obtenir un remplissage optimum avec une qualité de parement excellente. L'ensemble des massifs d'ancrage bétonnés avec l'armature du buton inférieur des déviateurs et des butons supérieurs a été réalisé avec ce béton autoplaçant (figure 2). Son utilisation nécessite toutefois la mise en œuvre de coffrages parfaitement étanches et renforcés pour reprendre sa poussée (photo 4).

### ■ Mise en œuvre de la précontrainte additionnelle

#### Généralités

Le principe de renforcement mis en œuvre sur l'ouvrage de Woippy consiste à implanter des câbles de précontrainte longitudinaux à l'intérieur des caissons, ondulés et ancrés en extrémité sur des massifs d'ancrage

Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

Figure 3

Ancrage d'un câble 19T15S  
Anchoring of a 19T15S cable

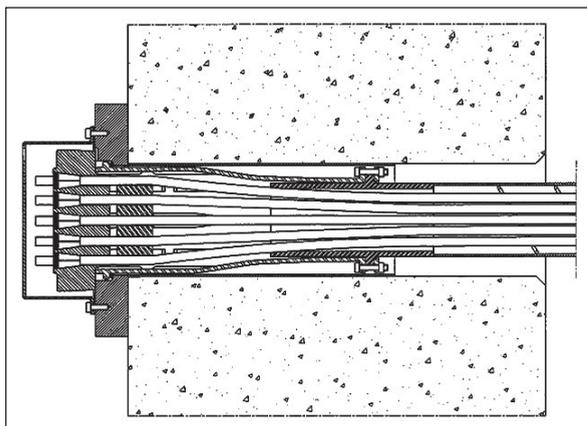
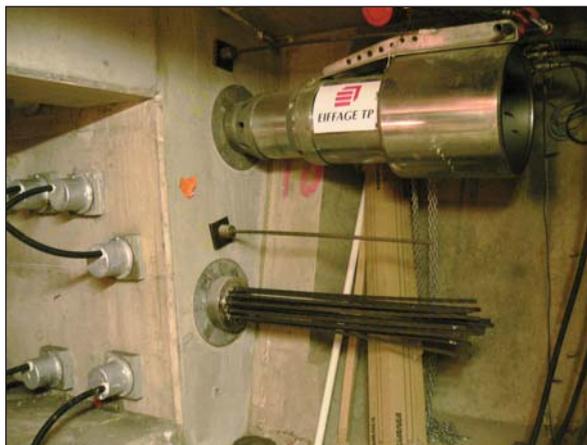


Photo 5

Précontrainte sur un massif d'ancrage proche d'une culée  
Prestressing on an anchor foundation block near an abutment



reconstitués à cet effet. Ces massifs permettent de diffuser les efforts de compression par l'intermédiaire des âmes du caisson. C'est ainsi que, par âme, trois câbles longitudinaux type 19T15 sont mis en œuvre : deux filants d'une extrémité à l'autre (longueur totale 350 m de C0 à C7) et le troisième ancré de part et d'autre des deux piles latérales à chaque culée (longueur totale 310 m de P1 à P6).

Ce principe reprend la technique générale utilisée maintenant depuis plusieurs décennies pour renforcer des ouvrages de ce type par une précontrainte mise en œuvre à l'extérieur des structures existantes (voir norme NF P95-104).

**Description du système de précontrainte longitudinale**

Le système de précontrainte longitudinale reprend la technique dite « précontrainte extérieure démontable », c'est-à-dire :

- un tubage général filant d'une extrémité à l'autre des organes d'ancrage, constitué de tubes en PEHD type PN 10 de diamètre 110,2/125 mm;
- des tubes déviateurs permettant de traverser chaque structure rencontrée le long du tracé et d'assurer dans certains cas l'ondulation recherchée du câble filant;
- des organes d'ancrage à double enveloppe permettant d'extraire le câble après détension sans intervention sur la structure existante;
- un faisceau de 19 torons T15 continus d'un ancrage à l'autre;
- un produit souple confiné dans l'enveloppe étanche constitué par le gainage général en PEHD. Ce produit d'injection est une cire pétrolière InjectElf (figure 3 et photo 5).

Le système choisi pour ces travaux est du type :

- système d'ancrage 19T15 Dywidag type VC;
- faisceau de 19T15 S classe 1860;
- gainage PEHD type PN10;
- capot d'extrémité permettant de protéger les surlongueurs.

Cf. encadré « Point sur la réglementation ».

**Description du système de précontrainte de cloutage des massifs d'ancrage**

Il s'agit d'un système de précontrainte à barres courtes de haute nuance, adhérent aux structures et présentant les caractéristiques suivantes :

- barres de diamètre 50 mm traversant les structures de part en part après forage des parements traversés;
- tubage de protection;

**Point sur la réglementation**

Le système choisi bénéficiait d'une homologation de la CIP, « Commission interministérielle de la précontrainte » jusqu'en 2007. Il est rappelé qu'après dissolution de la CIP par décret le 30 juin 2006, il a été admis que tous les systèmes précédemment agréés par la CIP pourraient bénéficier d'une autorisation de commercialisation jusqu'en décembre 2009 avec l'obligation par tous les détenteurs des procédés de précontrainte de présenter un nouveau système homologué suivant le nouveau référentiel européen (ETAG 013), système qui doit bénéficier du marquage CE avant ou à partir de cette date (agrément technique européen).

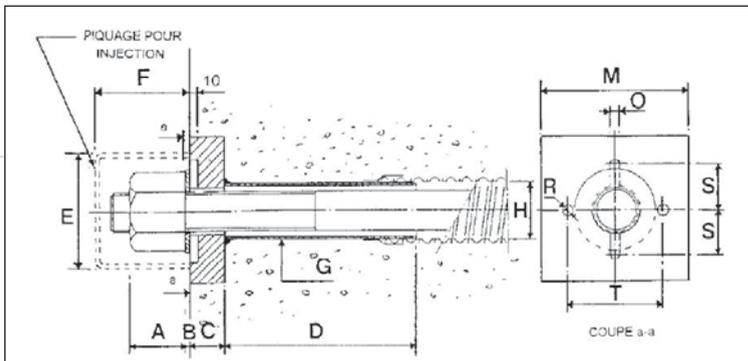


Figure 4

Ancrage d'une barre Macalloy  
Anchoring of a Macalloy bar

- organe d'ancrage à chaque extrémité avec plaque, écrou de blocage et capot;
- protection des barres tendues par injection d'un coulis de ciment type Superstresscem.

Les quantités des barres d'ancrage varient suivant l'effort de précontrainte longitudinale à ancrer, avec :

- 13 barres D50 sur chaque massif d'ancrage des culées C0 et C7;
- 6 barres D50 sur chaque massif d'ancrage des piles P1 et P6 (figure 4).

Le système choisi pour ces travaux est du type :

- système Macalloy barre diamètre nominal 50;
- classe des aciers 1030 MPa;
- gainage par tube acier;
- capot d'extrémité pour injection au coulis de ciment.

La remarque sur la réglementation énoncée dans le paragraphe précédent s'applique aussi à ce système (photos 6 et 7).

### Description des travaux de précontrainte

La mise en œuvre sur ce chantier se déroule en deux phases distinctes :

- la précontrainte par barres courtes des massifs d'ancrage;
- la précontrainte par câbles de renforcement des caissons.

### Précontrainte transversale des massifs d'ancrage et déviateurs

Ces travaux sont réalisés avant la mise en place de la précontrainte par câbles. Ils ont été réalisés de manière classique adaptée à des éléments tendus de très courtes longueurs, à savoir :

- étude par le LRPC de Nancy, de l'implantation des barres en fonction de la position des aciers existants relevée par radar géologique de type impulsif (radar GSSI, modèle SIR 3000) pour ne pas endommager la précontrainte existante;

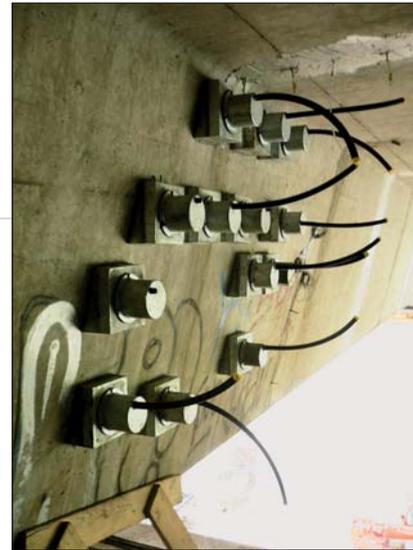


Photo 6

Ancrages des barres Macalloy à l'extérieur du tablier  
Anchoring of Macalloy bars outside the deck



Photo 7

Ancrages des barres Macalloy à l'intérieur du tablier  
Anchoring of Macalloy bars within the deck

- positionnement soigné du forage et forage des âmes des caissons;
- pose soignée des organes d'ancrage permettant d'assurer une parfaite perpendicularité de l'axe de l'élément tendu avec le plan de l'organe d'ancrage;
- mise en tension contrôlée par paliers et recalage des efforts pour reprendre la rentrée des ancrages (figure 5).

Des adaptations sur le tracé des barres (barres positionnées horizontalement), ont permis de réaliser un outil coffrant de ces massifs plus adapté. Les plaques support étaient donc équipées de cales biaisées pour compenser et rattraper l'angle d'inclinaison des âmes des caissons.

Les barres tendues et capotées ont été injectées avec un coulis stabilisé Superstresscem couramment employé dans la protection des armatures tendues. À noter que ce coulis, et le matériel spécifique de l'EDS (Entreprise Distributrice Spécialisée) utilisé pour sa préparation, font l'objet d'une autorisation d'emploi délivrée par la CIP. Cette autorisation sera remplacée par une ATE (Agrément technique européen) courant 2008 (cf. encadré « Point sur la réglementation »).

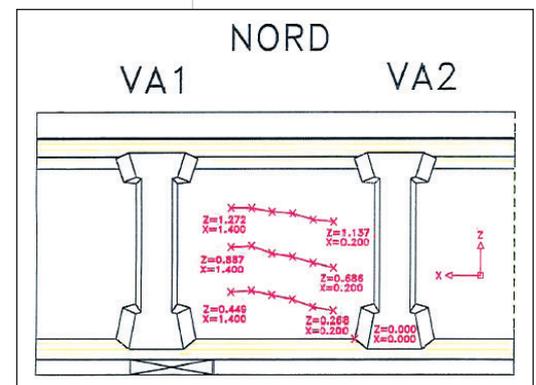


Figure 5

Relevé des câbles de précontrainte par le LRPC de Nancy  
Survey of prestressing cables by LRPC de Nancy

## Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

Photo 8

Précontrainte dans le tablier  
*Prestressing in the deck*



Photo 9

Suspentes provisoires  
des gaines PEHD  
*Temporary suspenders  
of HD polyethylene ducts*



Photo 10

Raccordement tube PEHD  
courant sur la trompette  
de l'ancrage à l'aide  
d'un manchon électro-soudable  
*Connection of standard HD  
polyethylene tube to the anchor  
trumpet junction with  
an electrically weldable sleeve*



### **Les travaux de précontrainte longitudinale : quatre grandes phases**

#### **Mise en place du gainage et enfilage des faisceaux de torons**

Le gainage est constitué de tubes en PEHD, de pression nominale PN 10, mis en place à partir d'éléments de grandes longueurs droites, assemblés individuellement par soudure au miroir, pilotée par un automate. Le supportage provisoire des tubes a été réalisé par des étais indépendants et par un câble de suspension funiculaire d'une extrémité à l'autre (photos 8, 9 et 10).

La fermeture et l'étanchéité totale des conduits sont assurées par :

- raccordement direct sur les trompettes du système Dywidag à l'aide d'un manchon thermo-soudable;



Photo 11

Machine pour enfilage des torons  
*Machine for strand threading*

- fermeture du conduit courant après les opérations de tension sur les câbles par un manchon du même type.

La phase d'enfilage sur ces câbles de 350 m a demandé une adaptation particulière des matériels habituellement utilisés pour ce type de travaux.

Les torons ont été enfilés par unité à l'aide de deux pousseurs de grande puissance, le premier (hydraulique) étant positionné en extrémité et le second au milieu du tracé, afin d'opérer en relais du premier. Grâce à cette méthode les faisceaux de câbles 19T15S ont pu être enfilés sur toute leur longueur dans des conditions techniques très satisfaisantes (photo 11).

#### **Mise en tension des câbles**

Les travaux de mise en précontrainte ont été programmés :

- après les opérations de mise en précontrainte des massifs d'ancrage;
- après les opérations d'injection des fissures;
- avant les opérations de vérinage pour changement des appuis.

Le contrôle des frottements a été assuré par une mesure de coefficient de transmission. Cette mesure a été limitée à un seul câble compte tenu de la similitude et de la faible ondulation des 2 x 3 câbles du renforcement d'un caisson.

La mise en tension des câbles s'est effectuée de manière symétrique, à chaque extrémité, par les vérins appropriés. Les opérations se sont déroulées par passes successives, selon le phasage déterminé par le bureau d'études (photo 12).

#### **Injection à la cire**

Les faisceaux de torons ont été protégés par une cire pétrolière, un produit souple permettant une pré-



Photo 12

Préparation du faisceau de torons avant mise en place de la tête d'ancrage

*Preparation of the bundle of strands before installation of the anchoring head*

contrainte non adhérente aux structures, « détachable » ou « retensionnable » et démontable. Ce produit est désormais développé et distribué par la société Civetea qui a repris l'activité de Total – Division InjectElf.

Compte tenu des quantités mises en œuvre, le produit est acheminé par camion équipé d'une citerne et d'une unité de chauffage.

La procédure d'injection a été adaptée à ces câbles de grande longueur en prévoyant une entrée sous pression du produit chaud (température +100 °C) en milieu du tracé, pour limiter le temps de parcours, donc le refroidissement du produit jusqu'aux organes de sortie situés aux ancrages. Les opérations d'injection des six câbles ont été réalisées en 4 heures environ (photos 13 et 14).

#### Mise en place de dispositifs anti-vibratoires

Des dispositifs permettant de relier les conduits de précontrainte extérieurs aux caissons ont été posés le long du tracé suivant les directives du bureau d'études. De type consoles, ils ont été réalisés à partir de système constructif standard.

Les longueurs sont adaptées aux emplacements et le dispositif est équipé d'une platine permettant sa fixation aux structures existantes (photos 15 et 16).

Nous avons tenu compte des remarques faites dans l'article du bulletin « Ouvrages d'art » du Sétra sur l'injection à la cire des câbles de grande longueur, en adoptant des gaines PEHD de diamètre plus important que celui strictement nécessaire selon l'agrément.

On vérifie que le ratio  $\phi_i / \sqrt{A_p} > 1,8$

avec  $\phi_i = 110$  mm et  $A_p = 19 \times 150 = 2850$  mm<sup>2</sup>, est égal à 2,06.

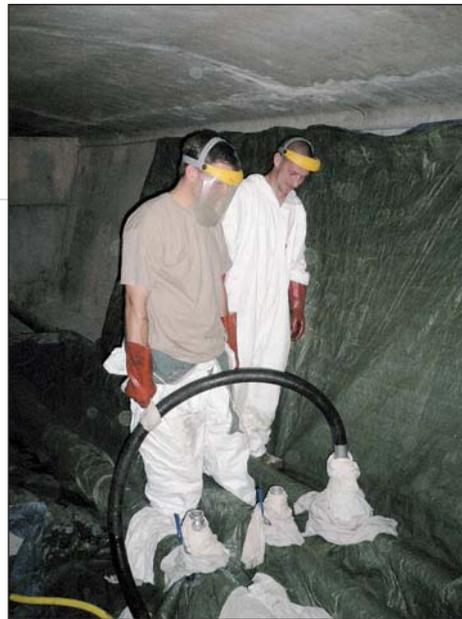


Photo 13

Injection de la cire pétrolière  
*Paraffin wax injection moulding*



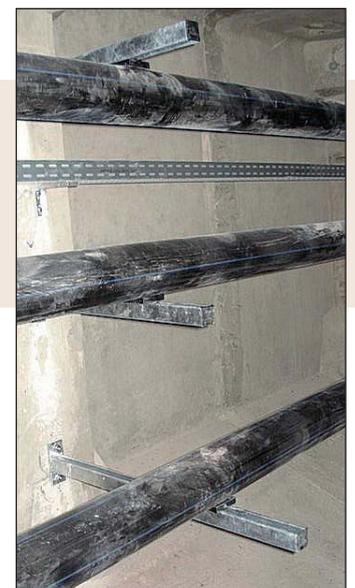
Photo 14

Événements d'injection  
*Injection moulding riser materials*



Photos 15 et 16

Supports anti-vibratiles des câbles  
*Anti-vibration cable supports*



Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

Figure 6  
Coupe transversale sur une culée  
Cross section on an abutment

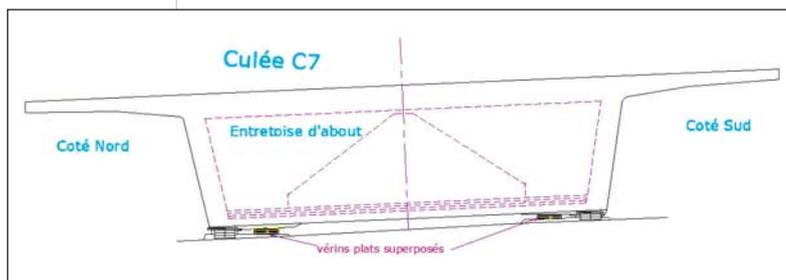


Figure 7  
Plan général d'aménagement des piles latérales  
General drawing of the layout of side piers

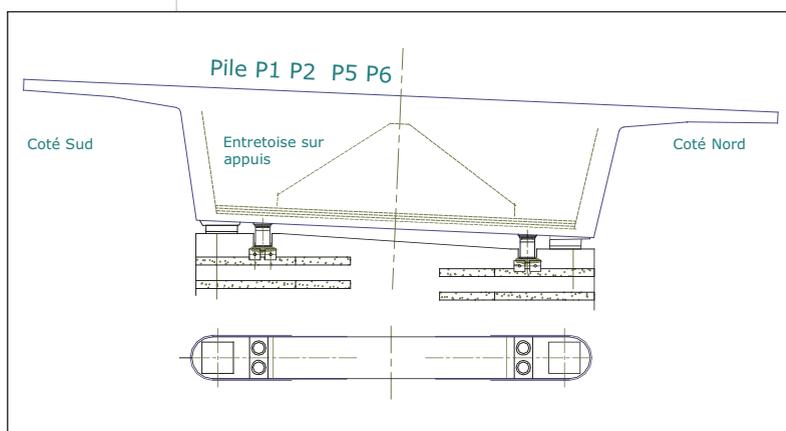


Photo 18  
Vue sur une pile latérale après vérinage de 50 mm  
A side pier after jacking by 50 mm



Photo 19  
Vue sur un appui avec le calage de construction en charge sur les bossages de vérinage  
A support with the construction bracing under load on the jacking anchor blocks



Photo 17  
Vue sur un point de vérinage  
A jacking point

■ Le vérinage et le remplacement des appareils d'appui

Généralités

Le poids propre du viaduc, de l'ordre de 8700 t, se répartit de manière très inégale sur huit lignes d'appui classées en trois groupes de caractéristiques dimensionnelles très différentes : les culées, les piles latérales et les deux piles centrales.

Le tablier est relevé de 50 mm afin de dégager suffisamment de hauteur pour construire les nouveaux appuis avec des dimensions normalisées.

Système de vérinage sur les culées

Des bossages de vérinage existent à côté des appareils d'appuis. Ils ont été utilisés en l'état pour mettre en œuvre des vérins plats d'un diamètre de 480 mm pour une capacité maximale de 240 t (figure 6).

Le vérinage des culées ne présentait pas de difficulté technique particulière. Seule l'implantation des calages de sécurité a été soigneusement étudiée de manière à ne pas créer de sollicitations excessives dans le chevet d'appui ou dans le hourdis inférieur.

Système de vérinage sur les piles latérales

Compte tenu des descentes de charge, 350 t à 440 t par appui, nous avons choisi de mettre en œuvre deux

vérins de 250 t pour 150 mm de course par appui. Par ailleurs, l'absence des plans de ferrailage et les sondages menés sur site ont conduit à renforcer les piles dans les deux directions :

- par deux barres Dywidag passant sous les niches;
- par un chaînage complémentaire réalisé avec des lamelles en fibre de carbone.

Les bossages supérieurs de vérinage ont été démolis car leur état ne permettait pas de reprendre les charges de vérinage. Les vérins prennent appui directement sur le hourdis inférieur par l'intermédiaire d'un calage métallique de répartition adapté (figure 7, photos 17 et 18).

### Système de vérinage sur les piles centrales

La mise en œuvre d'une solution de vérinage adaptée aux piles centrales s'est révélée ardue. En plus de la forte charge à soulever (1700 t par appui), les calages avec vérin plat mis en place à la construction sur les bossages de vérinage, sont restés coincés par le poids du tablier (photo 19).

Pour équiper les têtes de pile, il a été convenu d'installer un groupe de dix vérins de 220 t chacun, fabriqués spécialement pour s'adapter au mieux à la place disponible sur les piles centrales. Comme les vérins ne pouvaient être équipés d'écrous de sécurité, il a également fallu trouver des solutions pour mettre en œuvre un calage de sécurité, pendant le vérinage, et un calage pendant les travaux de démolition et de reconstruction des appuis.

La pile est renforcée selon le petit côté par des barres traversantes du fait de la proximité des vérins du bord de pile et de l'absence de plan d'armatures des chevêtres des piles (photo 20 et figure 8).

### Vérinage du tablier

Le tablier est vériné au total de 50 mm. Le phasage est vérifié par le bureau d'études.

Le suivi des déplacements se fait, en temps réel, par des capteurs de déplacement reliés à un pupitre de contrôle dans le véhicule technique. Les plus grosses difficultés ont été rencontrées sur les piles centrales. En effet, la faible course des vérins (28 mm) ne permettait pas de faire des passes supérieures à 5 ou 10 mm dans le meilleur des cas. Le tassement des calages de sécurité et des calages sous les vérins occasionnaient à chaque passe, une forte perte en course réelle de levage (phénomène de « pistonage ») (figure 9).

### Réalisation des nouveaux appuis

La démolition des bossages pour les culées et les piles latérales se fait avec des moyens pneumatiques tradi-

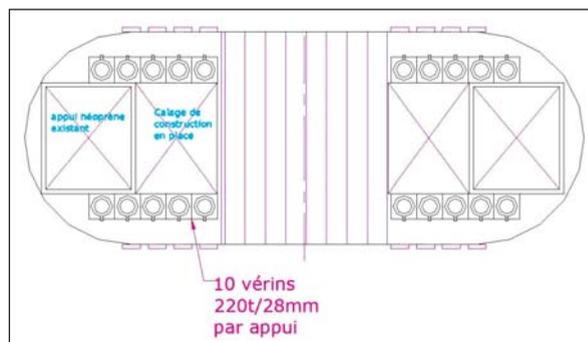


Figure 8

Schéma d'implantation des vérins sur la pile  
*Layout diagram of jacks on the pier*



Photo 20

Vue sur les cinq vérins d'un côté d'une P3 et P4 avec l'ancrage des barres de renfort

*The five jacks on one side of a P3 and P4 with anchoring of the reinforcing bars*

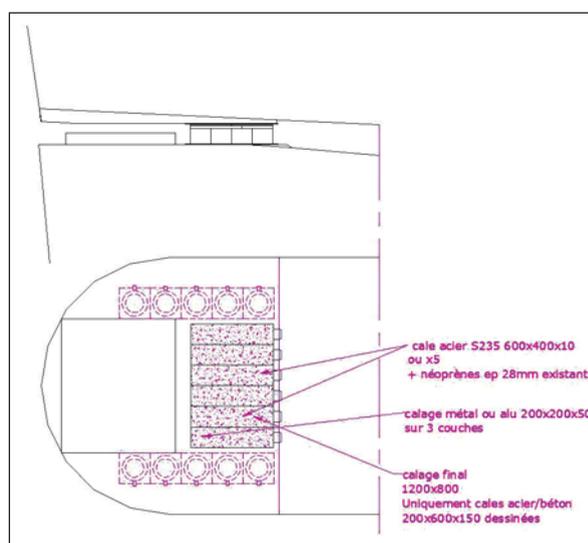


Figure 9

Piles P3 et P4 - Schéma d'implantation des calages entre les appuis en fin de vérinage en substitution des calages de construction non utilisables

*Piers P3 and P4 - Layout diagram of bracing between supports at the end of jacking to replace the unusable construction bracing*

## Autoroute A4. Renforcement du viaduc de Woippy

Photo 21

Nouveaux appuis sur une pile latérale

*New supports on a side pier*



Photo 22

Appui glissant sur une culée

*Sliding support on an abutment*



Photo 23

Sciage du bossage inférieur

*Sawing the lower anchor block*



Photo 24

Appui en place calé contre le bossage supérieur

*The support in place is braced against the top anchor block*



Photo 25

Appui terminé

*Completed support*



tionnels. Pour les piles centrales, un sciage au câble diamanté des bossages inférieurs de très grande surface (1,10 x 1,10 m<sup>2</sup>) et fortement ancrés, a été retenu.

Pour les culées et les piles latérales la réalisation des appuis se fait de manière traditionnelle, à savoir construction d'un bossage inférieur et réalisation d'un bossage supérieur par matage sur une plaque inox posée sur le néoprène fretté (photos 21 et 22).

Les appuis des piles centrales sont réalisés différemment : la sous-face des bossages supérieurs existante présentait un état de surface de très bonne qualité, lisse, plan et de niveau. L'appareil d'appui mis en contact du tablier par vis a été calé par matage traditionnel sur la pile (photos 23, 24 et 25).

La mise en œuvre des appareils d'appuis en caoutchouc fretté a nécessité des moyens originaux compte tenu du poids unitaire de chaque pièce : 250 kg pour les piles latérales et 600 kg pour les piles centrales. Pour ce faire, un chemin de ripage en cornières métalliques a été spécialement fabriqué, pour glisser les blocs à leur emplacement définitif (figure 10).

### ■ Instrumentation et contrôles

#### Généralités

Par une méthodologie adaptée, une instrumentation de l'ouvrage a été effectuée dans le but d'apporter une connaissance structurelle de l'ouvrage avant travaux (état zéro) et après travaux (état à la réception), ainsi qu'une appréciation qualitative et quantitative de la réparation effectuée.

L'instrumentation mise en place permet de suivre la structure après mise en précontrainte et épreuves au regard des :

- déformations et déplacements;
- des efforts normaux et de leur transmission (mise en place de capteurs avec enregistrement des données);
- des efforts de cisaillement (mise en place de capteurs avec enregistrement des données);
- des efforts locaux (mise en place de capteurs avec enregistrement des données).

L'ensemble des mesures porte sur :

- le gradient thermique dans une section (des sondes de température sont placées en hourdis supérieur et inférieur);
- les variations de contrainte suivant huit jauges (trois jauges en sous-face du hourdis supérieur, deux à mi-hauteur des âmes et trois en extradors du hourdis inférieur) dans trois sections critiques à renforcer;
- les variations de contrainte suivant deux rosettes dans deux sections situées au niveau des massifs d'ancrage. Elle est complétée par la mesure d'ouverture de deux joints par capteur de déplacement.

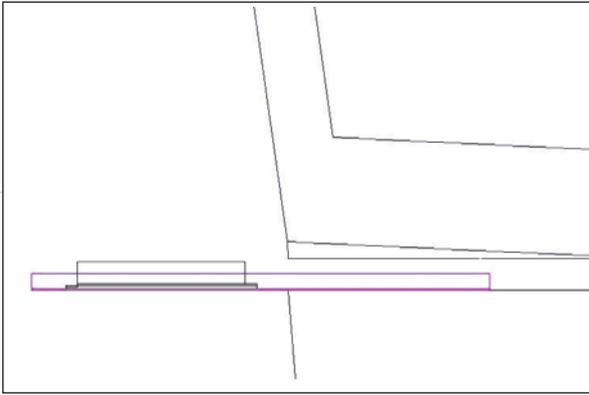


Figure 10

Principe de mise en œuvre des blocs appuyés sur les piles à l'aide d'un chemin de ripage

*Schematic of installation of support blocks on the piers with a skidding path*

## Résultats

Les résultats des mesures lors de la mise en tension montrent que la mise en œuvre des câbles donne une compression proche de celle prévue dans le recalcul. Au vérinage de l'ouvrage, aucune mesure ne présente de fortes variations de contrainte. Cela confirme que le vérinage de l'ouvrage s'est fait, comme prévu, sans application de sollicitations trop importantes dans le tablier. Les résultats des épreuves indiquent une bonne concordance entre les mesures obtenues et le recalcul. On note dans les sections instrumentées des diagrammes de Navier montrant un comportement élastique de ces sections. Les mesures des déformations de l'ouvrage, lors des épreuves, donnent des flèches légèrement inférieures aux flèches théoriques, ce qui confirme le bon fonctionnement de l'ouvrage renforcé.

Les valeurs des réactions trouvées lors des vérinages restent en phase avec le recalcul. Au cours des trois chargements d'épreuve dynamique aucune vibration des câbles de renfort n'a été constatée, garantissant ainsi le bon positionnement et l'efficacité des dispositifs antivibratoires. ■

## Références

- *Bulletin AFPC 1975 – Viaduc de Woippy – Pages 137 à 140.*
- Nicolas Roussel – Protection des câbles de précontrainte extérieure par injection de cires pétrolières. Modélisation de l'injection et conséquences pratiques – *Bulletin Ouvrages d'art du Sétra*, n° 51 – Mars 2006.
- Thierry Kretz – Suppression de la Commission interministérielle de la précontrainte (CIP) – *Bulletin Ouvrages d'art du Sétra*, n° 53 – Novembre 2006.

## ABSTRACT

### *Repair of Woippy viaduct on the A4 motorway*

*J.-J. Prodent, L. Brunel, J. Mossot,  
Cl. Néant, D. Weisse, A. Loiseau*

*Woippy viaduct on the A4 motorway was constructed in 1974-1975. Construction of the decks was performed using several construction processes, with parts of the structure executed in cantilever poured with mobile rigs and others in pre-fabricated segments placed as the work progressed with a cable staying tower or on centres.*

*The design assumptions made at the time led to under-estimation of certain effects resulting in openings in joints between prefabricated segments.*

*The owner considered it necessary to strengthen the viaduct by applying additional prestressing consisting of three pairs of 19T15S cables and to take advantage of this operation to change the shrunk-on neoprene support devices and the waterproofing and redo the wearing course of the decks.*

*Traffic constraints required precise management of the traffic lanes and of operations on the deck.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### *Reparación del viaducto de Woippy (57) en la autopista A4*

*J.-J. Prodent, L. Brunel, J. Mossot,  
Cl. Néant, D. Weisse y A. Loiseau*

*El viaducto de Woippy en la autopista A4 fue realizado en 1974-1975.*

*La construcción de los tableros se ha llevado a cabo mediante la puesta en aplicación de varios procedimientos de construcción con diversas partes de estructura ejecutadas en voladizo fundidas por medio de equipajes móviles y otros en dovelas prefabricadas tendidas por voladizo con mástil de arriostamiento o en arco de bóveda.*

*Las hipótesis de cálculos de la época han conducido en infravalorar ciertos efectos que acarrear aberturas en las juntas entre dovelas prefabricadas.*

*La entidad contratante ha estimado que es necesario reforzar el viaducto mediante la implementación de un pretensado adicional formado por tres pares de cables 19T15S y aprovechar esta operación para cambiar los aparatos de apoyo en neopreno por ajuste por contracción, las juntas de pavimento, realizar la hermeticidad y la capa de rodadura de los tableros.*

*Los imperativos de tráfico rodado impusieron una gestión precisa de los carriles de circulación y de las intervenciones en el tablero.*

# Autoripage®, Autofonçage® : pour Freyssinet

Le 1<sup>er</sup> novembre 2007, les équipes de JMB Méthodes et de la SCCM (groupe Freyssinet) battent un nouveau record à Tours en poussant trois ouvrages sur une distance cumulée de 140 m en 34 heures.

## DIMENSIONS DES OUVRAGES

### PRA 20-1

L : 42 m - l : 13,8 m - h : 9,8 m

### PRA20-2

L : 46 m - l : 13,8 m - h : 9,8 m

### PRA21

L : 16,5 m - l : 12,5 m - h : 7 m

C'est dans le cadre de la construction du boulevard périphérique Nord-Ouest de l'agglomération tourangelle et plus précisément de son passage sous la ligne SNCF Tours-Le Mans sur la commune de Saint-Cyr-sur-Loire, que le groupe Freyssinet est intervenu au cours du week-end de la Toussaint 2007.

Choisies par la société Bec Frères, en charge de la construction des ouvrages, les deux entités du groupe Freyssinet sont intervenues à deux étapes différentes du projet. En effet, si les opérations de poussage se sont organisées selon la répartition habituelle, JMB Méthodes assurant l'ingénierie préparatoire à l'opération et SCCM (Service Centralisé Câbles et Manutention) réalisant le poussage proprement dit, JMB Méthodes a aussi proposé plusieurs adaptations qui ont guidé la conception et la construction des trois ouvrages concernés (cf. encadré) (photos 1 et 2).



Photo 1

L'opération a consisté à mettre en place deux ponts-rails jumelés par Autofonçage® de 4500 et 4300 t...

*The project involved putting in place two twin railway bridges by 4500- and 4300-tonne Autofonçage® systems...*

Photo 2

... ainsi qu'un troisième pont-rail plus petit par Autoripage® de 1820 t  
... and a third smaller railway bridge by 1820-tonne Autoripage®



L'opération consistait à mettre en place, d'une part, deux ponts-rails jumelés (PRA 20, 1 et 2) permettant le passage des quatre voies du périphérique, et d'autre part, à environ 100 m de ces deux ouvrages, un troisième pont-rail plus petit (PRA 21) assurant la traversée d'une bretelle d'accès (photo 3).

Accolés l'un à l'autre, PRA 20, 1 et 2, respectivement de 4500 et 4300 tonnes ont été mis en place par Autofonçage®. Ils ont été ripés sur 66 m, alternativement en quatre poussées chacun à l'aide de quatre vérins de 1000 t et deux de 500 t, soit une capacité de poussée totale de 5000 t par ouvrage.

PRA 21, d'un poids de 1820 t a, quant à lui, été mis en place par Autoripage® sur une distance de 33 m à l'aide de deux vérins de 1000 t (photo 4).

## ■ 140 mètres en 34 heures

À l'intérieur d'une fenêtre d'interruption de trafic de quatre-vingt-six heures (incluant le démontage et le remontage des voies, ballasts et caténaires réalisés par les équipes de la SNCF), les opérations de poussage proprement dit ont été effectuées par trois équipes de sept techniciens du groupe Freyssinet en trente-quatre heures. Compte tenu du nombre d'ouvrages à pousser, la brièveté de ce délai représente, à elle seule, le second record dont cette opération peut se prévaloir.

La plus grande partie de ce temps a été consacrée à la mise en place des deux ouvrages du PRA 20. Rappelons en effet qu'un Autofonçage® s'effectue sans terrassement préalable, lequel est réalisé au fur et à mesure de l'avancée de l'ouvrage, par des engins positionnés à l'intérieur des demi-cadres de l'ouvrage. Avec cette technique, l'avancée se fait à une vitesse comprise entre 50 cm et trois mètres par heure.

## JMB Méthodes, de l'ingénierie globale à l'ingénierie de poussage

À Tours, JMB Méthodes n'est pas seulement intervenu sur la préparation des opérations de mise en place des ponts-rails. Comme sur de nombreux autres projets, plusieurs modifications ont été apportées au stade même de la conception des ouvrages afin de les rendre mieux adaptés aux exigences de la technique retenue pour les mettre en place.

Sur d'autres chantiers, il n'est pas rare que cette intervention préalable de JMB Méthodes débouche sur des propositions de variantes, voire sur des projets différents qui sont proposés au maître d'ouvrage.

# nouveau record



Photo 3

Sur le chantier, trois équipes de sept techniciens ont été mobilisées

*On the site, three crews of seven technicians were deployed*



Photo 5

La mise en place des trois ouvrages n'a duré que 34 heures

*It took only 34 hours to set up the three structures*

L'Autoripage®, quant à lui, est précédé par la phase de terrassement qui libère intégralement le terrain avant le début du poussage de l'ouvrage, lui permettant d'atteindre une vitesse maxi de 12 m/h (photo 5).

À Tours, ce ne sont pas moins de 23 000 m<sup>3</sup> de remblai qui ont été terrassés pour libérer les espaces destinés aux trois ouvrages.

Au sein du groupe Freyssinet, Jean-Luc-Bringer, directeur de SCCM, copilote les opérations d'Autoripage® et d'Autofonçage® en collaboration avec l'inventeur des deux procédés, Jean-Marie Beauthier (photo 6).

L'un des premiers avantages de l'Autoripage® et de l'Autofonçage® réside dans la rapidité d'exécution des travaux. « Il faut imaginer qu'avant le recours au pous-

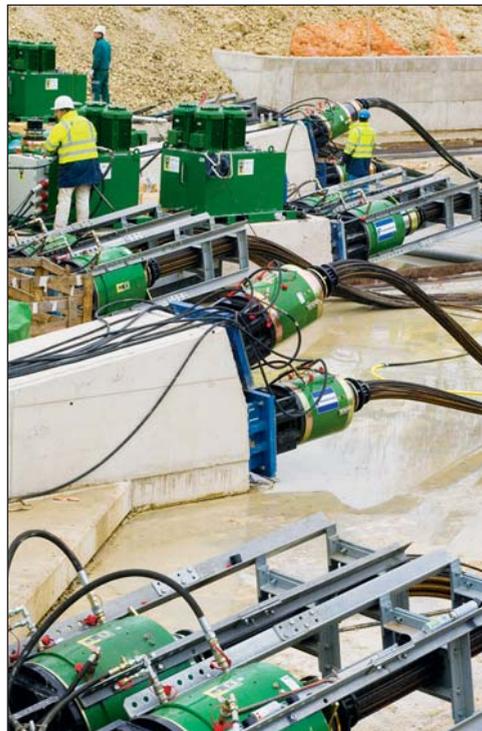


Photo 4

Pour les opérations d'Autofonçage®, six vérins ont été utilisés totalisant une capacité de poussage de 5 000 t

*For the Autofonçage® operations, six jacks were used with a total pushing capacity of 5 000 tonnes*

sage, indique Jean-Marie Beauthier, la SNCF devait gérer plusieurs mois de perturbations régulières sur ses lignes. Aujourd'hui, c'est tout au plus un gros week-end de coupure, sans conséquence pour l'utilisateur puisqu'il est programmé un an ou deux à l'avance. Sur le plan technique, ces deux techniques ne mettent en œuvre que deux tâches élémentaires : le terrassement et le ripage à même le sol. D'où un nombre d'aléas réduit au maximum et, le cas échéant, très facilement maîtrisables ».

Rappelons que la pression exercée sur le sol n'excède pas celle d'une semelle de chaussure : « On passe donc sur tous les terrains, sans surprise poursuit Jean-Marie Beauthier. Ce qui n'est pas le cas de certaines autres techniques de ripage, notamment sur longrines. D'ailleurs, ajoute-t-il, jamais nous n'avons manqué la coupure programmée, ni même retardé la remise en circulation. »

## ■ Des techniques qui ne semblent pas avoir d'autres limites que l'imagination de ceux qui les ont créées

Lorsque l'on demande à Jean-Luc Bringer quelles sont les limites de la technique, il peine à en trouver une autre que le manque de place pour préfabriquer l'ouvrage.

« Dans certains cas effectivement, un rétrécissement de voie ou un virage aussitôt après l'emplacement prévu rend



**Jean-Marie Beauthier**  
Fondateur  
de JMB Méthodes,  
consultant Freyssinet



**Jean-Luc Bringer**  
Chef d'agence SCCM  
(Service Central Câbles  
et Manutentions)  
Freyssinet France

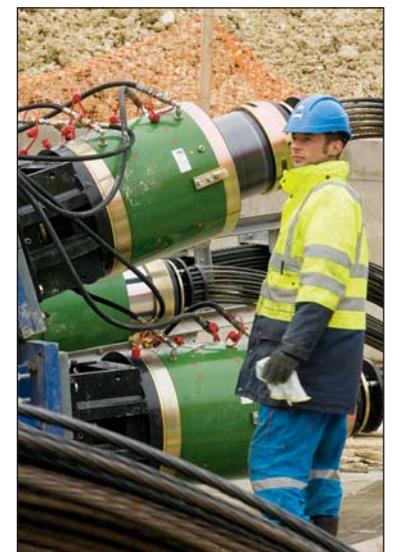


Photo 6

Au poste de commande sont centralisées en temps réel toutes les données de l'opération afin de piloter la manœuvre des vérins

*At the control station, all the project data are centralised in real time to guide jack operation*

## Autoripage®, Autofonçage® : nouveau record pour Freyssinet

► impossible la préfabrication et oblige à recourir aux anciennes techniques. Mais il existe toujours des solutions, même dans les cas les plus difficiles ». Et de citer cet ouvrage mis en place en Israël qui devait être « foncé » dans une terre tellement saturée d'eau qu'il a fallu congeler le terrain à l'azote pour permettre le fonçage dans un sol gelé. ■

### Autoripage®, Autofonçage® en accord avec le développement durable

Proposant un ensemble de solutions techniques et de savoir-faire en adéquation avec les grands critères environnementaux du développement durable, le groupe Freyssinet se mobilise pour élaborer son offre en ce sens et promouvoir l'aboutissement de solutions innovantes économes en ressources naturelles et peu émettrices de gaz à effet de serre (photo 7).

Les techniques de l'Autoripage® et de l'Autofonçage® répondent parfaitement à ces critères.

« D'un point de vue sécurité, l'un des volets du développement durable auquel nous tenons tout particulièrement, indique Jean-Luc Bringer, nos procédés n'ont évidemment aucune commune mesure avec les anciennes méthodes de construction in situ et ne présentent aucun risque pour les équipes impliquées ».

Sur le plan environnemental, la bentonite injectée sous le radier de l'ouvrage pendant l'opération est collectée dans des fûts et mise en décharge : elle est littéralement chassée par le coulis de ciment destiné à la fixation définitive de l'ouvrage et récupérée par des buses qui en facilitent l'expulsion et la récupération.

Quant à la graisse posée sur le radier de guidage avant le début de la construction de l'ouvrage, son impact environnemental est nul car elle est biodégradable.

On ajoutera qu'en ce qui concerne l'Autofonçage®, il peut être réalisé sur trois faces, c'est-à-dire en conservant plusieurs mètres du sol d'origine au-dessus de l'ouvrage. Cette méthode peut permettre de sauvegarder une flore rare. Comme ce cas dans Paris, où le procédé a été retenu pour assurer la sauvegarde de plusieurs platanes centenaires.



### ABSTRACT

#### Autoripage®, Autofonçage® : new record for Freyssinet

J.-M. Beauthier, J.-L. Bringer

Last November, Freyssinet, a specialist in the handling and shifting of bridge structures, contributed to the construction of the north-western section of the Tours ring road by putting in place, with its patented Autoripage® and Autofonçage® processes, two twin railway bridges and a smaller railway bridge (about a hundred metres away from the other two bridges) under the Tours-Le Mans railway line. These impressive installation operations were carried out in only 34 hours, controlled by the Freyssinet personnel using a centralised automatic control station with real-time trajectory control of the bridges.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### Autoripage®, Autofonçage® : nuevo récord para Freyssinet

J.-M. Beauthier, J.-L. Bringer

Especialista de la manipulación de cargas y del desplazamiento de estructuras, Freyssinet ha intervenido el pasado mes de noviembre en la construcción de la vía de circunvalación Noroeste de Tours al implementar, por medio de sus procedimientos patentados de Autoripage® y Autofonçage®, dos puentes ferroviarios acoplados y un puente ferroviario de menor tamaño (distante de unos cientos metros de los dos otras estructuras) bajo la línea SNCF Tours-Le Mans. Impresionantes operaciones de implantación, ejecutadas en solo 34 horas y pilotadas por los equipos de Freyssinet mediante un puesto de mando automático centralizado con control de la trayectoria de las estructuras en tiempo real.

#### Photo 7

Pour faciliter le glissement, de la bentonite sous pression est injectée sous le radier de l'ouvrage. En fin d'opération, elle est chassée par le coulis de ciment ; des buses en facilitent l'expulsion et la récupération

To facilitate skidding, bentonite is injected under pressure below the deck of the structure. At the end of the operation, it is driven out by the cement grout ; nozzles facilitate its expulsion and recovery

# Élargissement de la RN80 en Saône-et-Loire

**Thierry Briançon**  
Chef de secteur  
Guintoli

**Les 5,3 km de travaux de la section Sainte-Hélène/Les Baudots se sont déroulés dans des conditions météorologiques difficiles. Principales contraintes : intervention sous trafic avec basculements de circulation multiples.**

Les travaux de mise à 2 x 2 voies de la RN 80, entre Chalôn-sur-Saône et Montchanin, sur le département de Saône-et-Loire, se poursuivent avec cette section de 5,3 km, entre Sainte-Hélène et le lieu-dit Les Baudots. Le chantier, organisé en TOARC<sup>1</sup>, se situe très exactement sur les communes de Marcilly-les-Buxy, Sainte-Hélène et Moroges.

## ■ Pluviométrie exceptionnelle

Le projet prévoyait d'intervenir en trois phases spécifiques, deux voies supplémentaires étant tout d'abord créées, côté Montchanin, au sud de l'ouvrage existant, sur une distance d'environ 1500 m. Même procédure au nord, sur 2500 m, puis enfin de nouveau au sud sur le reste du tracé. La contrainte principale résidait, bien entendu, dans l'obligation d'intervenir sous circulation sur un axe particulièrement sollicité. Le trafic

1. TOARC : Terrassement, Ouvrages d'Art et Rétablissements de Circulation

### FICHE TECHNIQUE

#### **Maître d'ouvrage**

Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer - Direction régionale Équipement Bourgogne

#### **Maître d'œuvre**

Direction interdépartementale des Routes Centre Est, SIR de Moulins, Antenne de Mâcon

#### **Coordonnateur SPS**

COO

#### **Bureau de contrôle**

CETE d'Autun

#### **Entreprises**

Groupeement Guintoli (mandataire) - Eurovia - SNCTP - EHTP

#### **Durée des travaux**

Octobre 2006 - Septembre 2008

#### **Montant du marché**

15601724 € (HT)



Photo 1

Toutes les couches de forme ont été traitées au ciment et à la chaux au moyen d'un atelier classique constitué d'une épandeuse et d'un malaxeur  
*All the capping layers were treated with cement and lime using conventional equipment consisting of a spreader and a mixer*



Photo 2

Les travaux comprenaient la construction de trois PS, les anciens ouvrages étant préalablement démolis à la pince à béton, hors circulation

*The works included the construction of three overpasses, the old structures being demolished beforehand by concrete crusher, outside of traffic hours*



Photo 3

Les travaux de terrassement se sont déroulés en trois phases, chaque atelier étant formé d'une pelle Liebherr 954 et de dumpers Volvo A35

*The earthworks took place in three stages, each set of equipment consisting of a Liebherr 954 shovel and Volvo A35 dumpers*

## Élargissement de la RN 80 en Saône-et-Loire



quotidien peut en effet atteindre les 15000 véhicules dont une part très importante de poids lourds (jusqu'à 80 %).



L'autre difficulté importante est à mettre au compte des conditions météorologiques qui se sont révélées particulièrement défavorables, le chantier subissant 64 % de journées marquées par des précipitations pluvieuses entre octobre 2006 et septembre 2007 ! Cet environnement climatique a impacté directement les travaux de terrassement (300000 m<sup>3</sup> de déblais) eu égard à la géologie rencontrée. Des matériaux constitués d'argiles (A2 et A3) et de limons, donc particulièrement sensibles aux intempéries.

Photo 5

Le chantier comprend l'aménagement de deux bassins multifonctions, et la construction de deux ouvrages cadres  
*The project includes the development of two multi-purpose basins and the construction of two frame structures*

Dans la pratique, les trois zones de déblais (D2, D4 et D6) figurant sur le tracé ont été traversées en trois ateliers de terrassement, chacun d'eux étant constitué d'une pelle Liebherr 954 et de dumpers Volvo A35.



Photo 4

Une des contraintes principales réside dans l'obligation de maintenir la circulation existante

*One of the main constraints is the obligation to maintain the existing traffic*

### ■ Trois ouvrages d'art reconstruits

Les mouvements de terres ont globalement été équilibrés – le chantier bénéficiait d'un ancien stock de matériaux provenant d'une phase de travaux antérieure – une section d'environ un kilomètre ayant été, par ailleurs, réalisée en chaussées décalées afin d'atteindre cet objectif. Le marché prévoyait également de réaliser toutes les couches de forme traitées au ciment et à la chaux.

L'ensemble des matériaux nécessaires à cette intervention, effectuée par un atelier classique constitué d'une épandeur et d'un malaxeur, a été prélevé sur la zone D2.

Le projet, qui intégrait la démolition d'une bâtisse existante, comprenait par ailleurs la création de deux giratoires et des voies annexes, ainsi que celle d'un bassin de rétention et l'aménagement d'une aire de repos.

Aux extrémités du tracé, les deux passages inférieurs ont été prolongés, après confortement préalable du terrain par cloutage. Les trois passages supérieurs (PS 11, 12 et 13) impactés par le projet ont été entièrement démolis à la pince à béton, hors circulation, la circulation étant détournée sur les côtés au moyen de bretelles d'évitement préalablement réalisées. À noter que celles-ci sont conservées afin de permettre le passage des convois exceptionnels à hauteur des nouveaux PS.

Ces trois ouvrages, coulés en place, bénéficient d'une architecture soignée, notamment au niveau de la pile centrale, qui a nécessité la réalisation d'un coffrage bois spécifique, les perrés étant quant à eux revêtus d'une couche de béton désactivé.

La construction de chacun des ouvrages (6 mois) s'est déroulée classiquement, sur tours d'étalement Mills et passerelle, le marché imposant le maintien d'une voie de 4 m de large afin de permettre le passage, en cas d'accident sur la Nationale, des véhicules de secours.

Avant réalisation du revêtement définitif, les anciennes chaussées ont été rabotées et/ou reprofilées afin de permettre la correction du dévers existant. Dans la pratique la structure de la chaussée neuve est constituée, outre la couche de forme précédemment évoquée, de deux couches de grave bitume (GB 0/14 de 11 et 13 cm d'épaisseur), d'une couche de béton bitumineux

Photo 6

La structure de la chaussée neuve est constituée de deux couches de grave bitume et d'une épaisseur de béton bitumineux à module élevé

*The new pavement structure consists of two layers of bitumen treated base material and one layer of high-modulus bituminous concrete*



Photo 7

Tous les matériaux sont élaborés dans une centrale d'enrobés mobile, installée à proximité du chantier  
*All the materials are produced in a mobile bituminous mixing plant set up near the site*

à module élevé (BBME 0/10 de 6 cm) et d'une couche de béton bitumineux très mince (BBTM 0/6) de 2,5 cm. Tous ces matériaux sont élaborés dans une centrale d'enrobés mobile, les matériaux provenant des carrières de Comblanchien (CBS) et Marmagne (Lafarge).

Côté hydraulique les travaux ont nécessité, outre l'allongement de buses existantes et l'aménagement de deux bassins multifonctions, la construction de deux ouvrages cadres (section 150 x 80 cm). Dernier point : la réalisation de deux merlons afin de protéger les riverains des nuisances sonores. ■

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### Terrassement

- Dégagement des emprises : 250 000 m<sup>2</sup>
- Décapage terre végétale : 72 000 m<sup>2</sup>
- Déblais : 295 000 m<sup>3</sup>
- Déblais de substitution : 50 000 m<sup>3</sup>
- Remblais divers : 120 000 m<sup>3</sup>
- Remblais traités à la chaux : 70 000 m<sup>3</sup>
- Dépôt, modelage : 115 000 m<sup>3</sup>
- Fournitures matériaux drainants : 55 000 m<sup>3</sup>
- Couche de forme matériaux traités : 40 000 m<sup>3</sup>
- Couche de forme matériaux granulaires : 44 000 m<sup>3</sup>
- Traitement des arases : 90 000 m<sup>3</sup>

#### Assainissement

- Collecteur Ø 400 à 1200 : 5700 m
- Drains : 5200 m
- Cunettes et caniveaux bétonnés : 13760 m
- Fossés : 3500 m

#### Chaussées

- Grave bitume : 67 000 t
- BBSG : 10 000 t
- BBME/BBTM : 24 000 t

## ABSTRACT

### Widening of highway RN 80 (Saône-et-Loire region)

Th. Briançon

Two-lane dual-carriageway development of highway RN 80, between Sainte-Hélène and the locality of Les Baudots, represents a 5.3-km section covering earthworks, engineering works and restoral of communications. The widening works were carried out in difficult weather conditions which were extremely penalising for earthworks (300,000 cu. m of earth cuts) given the nature of the ground encountered, consisting of a mixture of clay and loams.

The project, which provided for the extension and creation of numerous culverts, also included the demolition and reconstruction of three overpasses. These structures, cast in situ, are meticulously architected with a central architectionic pier and breast walls lined with deactivated concrete. The pavement materials are produced in a mobile bituminous mixing plant, the existing lanes being first reprofiled to correct the existing road banking.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Ampliación de la carretera nacional RN 80 en el departamento de Saône-et-Loire

Th. Briançon

La puesta a 2 x 2 carriles de la RN80, entre Sainte-Hélène y la aldea Les Baudots, representa un tramo de 5,3 km organizado en TOARC. Los trabajos de ampliación se han desarrollado según difíciles condiciones climáticas que vinieron a penalizar, particularmente, los movimientos de tierra (300 000 m<sup>3</sup> de desmontes), si se tiene en cuenta el género de los terrenos encontrados, formados por una mezcla de arcilla y de limones. El proyecto, vislumbraba la prolongación y la creación de numerosas obras hidráulicas, integraba además la demolición y la reconstrucción de tres pasos superiores. Estas obras, fundidas in situ, se benefician de una destacada arquitectura con pila central arquitectónica y empedrados revestidos de hormigón desactivado. La producción de los materiales de pavimento se realiza en una central móvil de aglomerados, los carriles existentes siendo previamente reperfilados con objeto de permitir la corrección del peralte existente.