

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRANSPORTS & INFRASTRUCTURES. AMENAGEMENT DES OUVRAGES D'ART DE L'ITINERAIRE ITER. TRAMWAY DE REIMS. DEUX NOUVELLES LIGNES DE TRAMWAY A DIJON. TRAMWAY D'ANGERS. CONSTRUCTION DU METRO DE LA MECQUE. METRO DE BARCELONE : INSTRUMENTATION ET AUSCULTATION PENDANT LES TRAVAUX DE LA LIGNE 9. REPRISE EN SOUS-CŒUVRE : LIGNE DE METRO N°1 AU WORLD TRADE CENTER. UN CHANTIER ECOLE.

N°871 MAI 2010



SEINE
PONT-DE-L'ARCHE
CONTENEURS
© VNF P. LEMAITRE

LES TRAVAUX
PUBLICS FEDERATION
NATIONALE

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée
Rédactrice en chef
Mona Mottot

3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fnfp.fr

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Detry
(Setec TPI), Philippe Jacquet (Bouygues),
Stéphane Monleau (Solétanche Bachy),
Bruno Radiguet (Bouygues), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel
Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel),
Mona Mottot (FNTP)

Ont collaboré à ce numéro**Rédaction**

Delphine Désveaux,
Marc Montagnon,
Monique Trancart

Secrétariat de rédaction
Julia Deck

**Service Abonnement et Vente
Com et Com**

Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
Email : revue-travaux@cometcom.fr

France (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité

Régie Publicité Industrielle
Xavier Bertrand - Nourredine Bennai
9, bd Mendès France
77600 Bussy-Saint-Georges
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27
Email : bertrand@rpi.fr - bennai@rpi.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Réalisation et impression

Com'1 évidence
8, rue Jean Goujon - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34
Email : contact@com1evidence.com

Maquette**Idé Edition**

La revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0111 T 80259
ISSN 0041-1906



« PENSER LE TRANSPORT AUTREMENT »



© DR

Conformément à la volonté conjointe
de la représentation nationale unanime
et du Gouvernement, exprimées dans
l'article 16⁽¹⁾ de la loi dite Grenelle 1,
la France va donc se doter, dans les prochains
mois –avant la fin de l'année, espérons-le–
d'un schéma national des infrastructures
de transport (SNIT) qui peut et doit constituer
le socle de la politique de notre mobilité
intermodale des 20 prochaines années.

TDIE⁽²⁾ ne peut que se réjouir qu'un tel outil de
planification, qu'elle a tant appelé de ses vœux,
voie enfin le jour, après les ultimes concertations
avec les acteurs du Grenelle et les collectivités
territoriales, au premier rang desquelles les
régions. Et cela même s'il convient, en ces
temps de rigueur budgétaire et financière
annoncée, de faire preuve de vigilance.

Ce faisant, nous sommes fidèles à notre vocation
puisque dès sa création en 2001, à l'époque
des schémas de service collectifs, insuffisamment
sélectifs, TDIE avait milité en faveur d'une
planification ambitieuse, avec un schéma national
multimodal des transports à l'horizon 2025,
et une programmation volontariste gagée sur des
modes de financement opérationnels suffisants.
Écrire les principes et les objectifs de la politique
des transports des deux prochaines décennies
apparaît en effet comme le préalable
indispensable à toute programmation de moyen
terme (CPER, PDML...), qui elle-même suppose
le recours à des outils de financement de plus
en plus complexes au fur et à mesure que
la capacité d'intervention directe de l'État
s'amenuise, non moins que celle des collectivités
territoriales.

Un préalable indispensable si l'on veut répondre
à la « feuille de route » fixée par le Chef de l'État
en décembre 2008 à Douai : « Parce que nous
avons des retards d'investissement considérables.

Parce que nous avons des retards de compétitivité
qui se sont accumulés depuis près de trente ans.
Il nous faut rattraper nos retards.

Ne pas accomplir maintenant l'effort nécessaire
pour y parvenir serait une erreur majeure dont
nous paierions longtemps le prix ».

Pour autant, écrire des principes et fixer des
objectifs ne saurait se limiter à quantifier le
kilométrage de lignes TGV à réaliser d'ici à 2020
ou 2030, ni même à décider du « rééquilibrage
de la demande de transport au profit des modes
alternatifs à la route et à l'aérien » ; ou de
« redéfinir le rôle de la route ». Ce serait pour
le moins sommaire et simpliste.

Il convient, tout au contraire, de faire assaut
d'ambition et de penser le transport autrement,
qu'il s'agisse de l'une ou l'autre de ses deux
composantes, les services de transport à
promouvoir, et les infrastructures qui les
supportent. Ainsi, lorsque la part de mobilité
acquise à la route dépasse les 80 %, pour
les passagers comme les marchandises,
la planification doit porter tant sur la régénération
et l'entretien du réseau existant, que sur
la création de normes en matière de qualité
de service, donc de fluidité, de respect des
techniques écologiques, de sécurité... Ce n'est
qu'en conséquence de ces normes, et en tenant
compte des immenses progrès technologiques
que connaissent les industries routière et
automobile que pourront être planifiés, ou non,
des travaux de création de routes nouvelles,
ou de modernisation et de sécurisation d'axes
existants.

Le même principe est applicable au réseau
ferroviaire classique, à régénérer, et au réseau à
grande vitesse –à quoi sert une LGV : à desservir
les aéroports principaux, ou les territoires enclavés
et les métropoles régionales, ou encore à franchir
les frontières– sans compter l'émergence
indispensable d'un véritable réseau à priorité
fret et celle d'un authentique réseau voyageurs
à vitesse élevée sur plates-formes classiques
(220-250 km/heure).

⁽¹⁾ « Un schéma national des infrastructures de transports fixe
les orientations de l'État en matière d'entretien, de modernisation
et de développement des réseaux relevant de sa compétence ».

⁽²⁾ TDIE : Transport, Développement, Intermodalité, Environnement.

PHILIPPE DURON
DÉPUTÉ DU CALVADOS
CO-PRÉSIDENT DÉLÉGUÉ DE TDIE

LOUIS NEGRE
SÉNATEUR DES ALPES-MARITIMES
CO-PRÉSIDENT DE TDIE

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE, UN ACTEUR MAJEUR DE LA FILIÈRE FLUVIALE

AU PREMIER TRIMESTRE 2010, LE FRET FLUVIAL AFFICHE UNE CROISSANCE SOUTENUE, FRUIT DES EFFORTS DE RELANCE DE LA FILIÈRE AMORCÉE DE LONGUE DATE PAR VNF ET SES PARTENAIRES, ET APPUYÉE PAR LES OBJECTIFS AMBITIEUX DE REPORT MODAL FIXÉS PAR LA LOI GRENELLE I.

LE POINT AVEC THIERRY DUCLAUX, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE VOIES NAVIGABLES DE FRANCE. PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT



« **NOUS VOULONS UN RÉSEAU RÉNOVÉ
AVEC UNE MAINTENANCE
BIEN ORGANISÉE** »

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE MÈNE PLUSIEURS CHANTIERS DE FRONT : LA MODERNISATION ET L'ENTRETIEN DE SON RÉSEAU, LA CONSTRUCTION DU CANAL SEINE-NORD EUROPE DONT IL EST MAÎTRE D'OUVRAGE, MAIS AUSSI LA RÉFORME PORTUAIRE.

Comment a évolué le transport fluvial au cours des dix dernières années ?

De 1997-2007, VNF a connu une croissance continue avec une hausse de 40 % du trafic de fret. En ce qui concerne celui des conteneurs, il est en plein essor depuis les années 2000, notamment entre Le Havre et la région parisienne et entre Marseille/Fos et la région lyonnaise. Puis vint la crise 2008-2009 à

laquelle nous avons plutôt bien résisté. Fin 2009, le trafic a marqué une baisse de 2,3 % de tonnes-kilomètres due à l'exportation, alors qu'il a augmenté de 4 % à l'intérieur. En ce début 2010, nous enregistrons une croissance soutenue avec une augmentation de 10 % de tonnes-kilomètres au premier trimestre, en comparaison aux chiffres de 2009 sur la même période. Et les perspectives de développement sont prometteuses.

Comment expliquez-vous cette dynamique ?

Outre une certaine reprise économique des secteurs impactés par la crise (produits énergétiques, chimiques et sidérurgiques), le transport fluvial présente de nombreux avantages. La voie d'eau est en effet un mode de transport qui, en moyenne, consomme 4 fois moins d'énergie et émet 4 fois moins de CO₂ que le transport routier, sans compter la

diminution des nuisances sonores, de l'encombrement des axes routiers et des risques d'accident. Les différents acteurs portuaires, les agents économiques (chargeurs, armateurs, transitaires et manutentionnaires), les pouvoirs publics et l'opinion se retrouvent ainsi sur trois enjeux qui les incitent à l'utilisation du transport combiné fleuve/route : les coûts, la fluidité de circulation et la protection de l'environnement.



Ce transport bimodal permet en effet d'acheminer des quantités de marchandises beaucoup plus importantes que par la route seule ; la massification des transports d'approvisionnement permet de diminuer les coûts et de réduire les émissions de CO₂. Notre comparaison de trajets de porte à porte entre Le Havre et le Bassin parisien, montre des gains d'énergie de 20 à 50 % par rapport à la route.

Les clients chargeurs sont-ils prêts à vous suivre ?

Six conditions sont essentielles pour assurer le succès des services combinés fleuve/route. Un service porte à porte, du terminal portuaire à l'entrepôt, doit être proposé. Un opérateur de transport devra coordonner tous les maillons : manutention portuaire, transport fluvial, manutention sur le terminal intérieur, pré- et post-acheminement routier. Le prix porte-à-porte devra être inférieur à celui de la route. Les services proposeront une fréquence suffisante et une fiabilité identique à celle de la route. Ce n'est pas tant la durée du transport qui compte que le respect de l'heure de livraison, pour insérer le flux de marchandises, juste à temps, dans les cycles de production et/ou de distribution. De nouveaux services pourront rendre l'offre plus attractive. Par exemple, la possibilité de dédouaner la marchandise sur le port fluvial et non dans le port maritime, ce qui permet de gagner du temps et de l'argent, et d'utiliser les temps de parcours sur la voie d'eau et de stationnement sur le terminal fluvial pour stocker les conteneurs et ajuster le délai de livraison.

CANAL SEINE-NORD EUROPE : REPÈRES

- **Liaison de l'Oise (Compiègne) au canal Dunkerque-Escaut près de Cambrai.**
- **Longueur : 106 km.**
- **Coût : 3,2 milliards d'euros, besoin de financement 4,2 milliards (2005).**
- **En 2020 : 500 000 poids lourds en moins, entre 13 et 15 millions de tonnes de marchandises transportées, et près du double, en 2050.**
- **Mise en service prévue en 2015 dans le cadre d'un contrat de partenariat public privé (PPP).**
- **2012-2015 : construction.**
- **2010-2011 : travaux préparatoires.**
- **Fin 2009 à 2011 : phases du dialogue compétitif pour aboutir à la signature du contrat de PPP.**
- **2009-2010 : procédures d'autorisation administrative au titre de la Loi sur l'eau.**
- **Depuis octobre 2009 : acquisitions de terrains.**
- **3 avril 2009 : lancement de l'avis d'appel public à la concurrence pour la procédure de PPP.**
- **Septembre 2008 à fin 2009 : diagnostics archéologiques ; juin 2009 à 2011 : fouilles.**
- **11 septembre 2008 : décret portant déclaration d'utilité publique des travaux de réalisation du canal à grand gabarit Seine-Nord Europe.**

Le stockage des conteneurs coûte moins cher sur les terminaux intérieurs que sur les terminaux maritimes. De plus, ces terminaux intérieurs sont proches des marchés.

La croissance du trafic fluvial et les développements en perspective nécessitent des investissements, notamment pour la modernisation et l'entretien des infrastructures. Quelles sont les actions de VNF pour développer son réseau ?

Nous avons un programme d'investissement conséquent sur les dix ans à venir. Nous voulons

un réseau rénové avec une maintenance bien organisée pour le conserver en bon état. Nous avons terminé l'inventaire de tous les ouvrages, de leur état, composant par composant, fin 2008. Nous savons lesquels réhabiliter, remplacer ou reconstruire. À partir de ce constat, nous définissons ce qui est le plus urgent, selon la catégorie du réseau. Les exigences de fiabilité sont plus élevées sur le grand gabarit. Nous regardons où sont les risques de défaillance qui ne permettraient pas de remplir les exigences. Nous en déduisons un programme d'investissement et une stratégie

de maintenance. Depuis 2009, nous avons des plans de maintenance ouvrage par ouvrage (berges comprises).

Le projet du canal à grand gabarit Seine-Nord Europe est le projet phare de VNF, où en est ce projet aujourd'hui ?

Nous en sommes à l'appel à concurrence pour le partenariat public privé (PPP). Deux candidats se sont présentés : l'un sous la bannière de Vinci Concessions, l'autre sous celle de Bouygues Travaux Publics. Fin 2009, nous avons mis au point le dossier de consultation des entreprises, avec expertises extérieures et travail en interne. La procédure, en dialogue compétitif, dure vingt-et-un mois. L'objectif, c'est un contrat fin 2011 (offres techniques et financières) et des travaux à partir de 2012. Le candidat finalement retenu sera un consortium d'entreprises avec un leader. Il n'est pas possible de découper un tel marché en lots attribuables à différents acteurs.

Les plates-formes multimodales sont développées dans un cadre séparé. Pour l'instant, nous en discutons avec les collectivités locales, les régions et les départements concernés par le tracé du canal pour voir sous quelle forme nous les réaliserons, notamment technique, et sous quelle gouvernance⁽¹⁾.

Qu'en est-il des travaux préparatoires ?

Le plan de relance consacre 20 millions d'euros aux travaux préparatoires : modifications locales d'itinéraire du canal du Nord, abaissement de l'autoroute A29, ►



acquisitions foncières et études des bassins réservoirs. Plus globalement, le plan est une opportunité pour accélérer la modernisation et le développement des infrastructures fluviales. L'État mobilise près de 120 millions d'euros pour le réseau fluvial dont 100 millions consacrés au réseau existant. Ce soutien est démultiplié par les contributions des collectivités locales et notamment des Régions aux programmes d'investissement. Ainsi, près de 170 M€ sont générés par le plan de relance dont 133 M€ sur les deux années 2009-2010.

En 2009, les opérations réalisées correspondent à des priorités de VNF. Citons la reconstruction de barrages de navigation à Chatou sur la Seine (40 M€), à Boran et Venette sur l'Oise (25 M€). La Saône est aussi concernée (2 M€) ainsi que les barrages réservoirs (3,5 M€). À noter aussi, les études du PPP pour la reconstruction de 29 barrages à aiguilles et le développement d'une production hydroélectrique sur l'Aisne et la Meuse. Les ouvrages de la Moselle vont être modernisés (16,5 M€) ainsi que ceux du réseau Nord/Pas-de-Calais (chenal et berges) dans la perspective du canal Seine Nord Europe (9,5 M€) et des travaux importants seront réalisés sur le canal Rhône à Sète (31 M€).

Vous avez mis à disposition un écocalculateur sur votre site, il y a six mois. Avez-vous un retour de son utilisation ?

À fin 2009, nous observions 15-20 connexions au site par jour. À travers l'écocalculateur Eve, nous voulons démontrer les avantages du fluvial sur le plan écologique.

6 700 KM DE VOIES NAVIGABLES

Voies navigables de France gère, exploite, modernise et développe un réseau européen de voies navigables de 6 700 km de canaux et rivières aménagés, avec plus de 2 000 ouvrages d'art et 40 000 ha de domaine public bord à voie d'eau.

Établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, il agit en étroite collaboration avec les partenaires institutionnels et usagers de la voie d'eau.

À chaque catégorie de voie navigable est associé un niveau de service. Le réseau confié à VNF se répartit comme suit :

- **CATÉGORIE 1 : grand gabarit, voies de plus de 650 tonnes ;**
- **CATÉGORIE 2 : voies de moins de 650 tonnes (marchandises) ;**
- **CATÉGORIE 3 : voies autres à vocations multiples (dont marchandises) ;**
- **CATÉGORIE 4 : voies touristiques.**

C'est un outil pédagogique de comparaison avec les autres modes de transport ⁽²⁾. Nous avons testé des transports courts où la route peut être plus intéressante. Nous avons inclus les coûts externes (pollution, accidents, bruit, risque de bouchons). Notre prochain challenge est de le partager avec d'autres pays européens car la moitié de notre trafic est international. Nous collaborons avec les Wallons, les Flamands, les Autrichiens, les Allemands, etc. au sein l'association INE (Inland Navigation for Europe) basée à Bruxelles.

Comment êtes-vous concernés par la réforme portuaire ?

Le portuaire maritime est stratégique pour nous : 49 % de notre trafic fluvial (en tonnes-kilomètres) est originaire ou à destination d'un port maritime, français ou étranger. Notre souci, c'est la réalisation

d'interfaces efficaces entre le maritime et le fluvial.

Grâce à cette réforme, nous avons intégré les instances de gouvernance des ports maritimes : le conseil de surveillance de Rouen, les conseils de développement à Dunkerque, au Havre et à Marseille. Pour réaliser l'interface d'un mode massifié avec le maritime, les décisions sont prises longtemps avant la réalisation de projets lourds et structurants. Nous sommes donc maintenant à l'orée des réflexions sur ces décisions stratégiques. Nous sommes mieux informés et les instances portuaires nous écoutent avec plus d'attention et réciproquement. Nous faisons partie des acteurs portuaires aujourd'hui. La deuxième idée de Dominique Bussereau, secrétaire d'État aux Transports, dans sa réforme, c'est de créer une commission consultative interportuaire de la Seine qui rassemble les ports du Havre, Rouen

et Paris, RFF et VNF. Objectif : trouver des solutions communes, par exemple sur l'intégration des modes massifiés dans la vie des ports. Cette vision prospective est très positive. Elle produit dès maintenant des modes de réflexion, de contacts, très différents de ce qui existait auparavant.

Quelles sont vos attentes concrètes de cette réforme ?

Nous souhaitons l'amélioration des interfaces portuaires, qu'elles soient opérationnelles. Le Havre a le plus gros potentiel, les retombées sont importantes. Nous visons le doublement de l'encours de marchandises (objectif de la loi Grenelle) à la sortie du port du Havre. Le chantier intermodal est en cours de financement (plan fret). L'écluse fluviale dans Port 2000 est à l'étude et le grand canal est en débat public. À Marseille, des aménagements sont en cours d'enquête. Il faudra, ensuite, dynamiser les ports intérieurs. Dominique Bussereau y est attentif. Sur les ports intérieurs, nous sommes sur des modes un peu anciens. Il faut donc les adapter à la nouvelle donne économique. Les marchés sont de plus en plus internationaux, quelquefois de plus en plus soumis à des aléas conjoncturels. Il faut des entités plus structurées, aux gouvernances plus élargies, avec des moyens de réaction, d'investissements et des superficies plus importantes si nous voulons qu'elles tirent leur épingle du jeu dans un monde de plus en plus globalisé et soumis à des aléas parfois violents. □

1- Mission Cousquer.
2- Voir Travaux octobre 2009, page 16.



1- Plus de 500 personnes ont assisté à cette conférence technique interdépartementale des transports et de l'aménagement (Cotita) à Bordeaux, le 1^{er} avril.



© CETE SUD OUEST

CHANGEMENT CLIMATIQUE COMMENT LA ROUTE PEUT ATTÉNUER SON EMPREINTE

REPORTAGE DE MONIQUE TRANCART

LES DÉBATS DU SÉMINAIRE DE BORDEAUX SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA ROUTE ONT NAVIGUÉ ENTRE PRUDENCE ET NÉCESSITÉ. POURQUOI N'AGIT-ON PAS PLUS ? LES ACTEURS EN ONT-ILS LES MOYENS ? OÙ AGIR ET COMMENT ?

« Les vignes de Saint-Emilion vont pousser dans le Pas-de-Calais et à la place, seront plantés des cepes de Boulaouane, » a annoncé mi-figue mi-raïsin Fonzi Benkhelifa, expert énergie-climat du cabinet Explicit, au séminaire « Infrastructures routières et changement climatique » le 1^{er} avril à Bordeaux. C'était peut-être pousser le bouchon un peu loin mais les prévisions de réchauffement de l'atmosphère placent tout de même Bordeaux à la hauteur de Montpellier, en 2050, et Poitiers, à celle de Toulouse. En réalité, l'ambiance de cette conférence technique interdépartementale des transports et de l'aménagement (Cotita) était plutôt sérieuse. Tout le monde avait en tête les tempêtes Xynthia fin février en Charente-Maritime, et Klaus en Aquitaine, l'année dernière.

Plus de 500 personnes ont participé à ce séminaire, il est vrai gratuit, organisé par le ministère de l'Écologie (MEEDDM) et rassemblant les représentants du réseau scientifique et technique de l'État, des maîtres d'ouvrage et de la profession routière en provenance d'Aquitaine, Limousin, Midi-Pyrénées et Poitou-Charentes.

MANQUE DE DONNÉES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Rappelons que c'est l'utilisation de la route qui contribue le plus aux émissions de CO₂, beaucoup plus que sa construction ou son entretien.

Par exemple, les transports en Région Aquitaine émettent 10 millions de tonnes de CO₂ (2006) dont 97 % sont liées à la route.

La gestion du trafic vient donc en tête des mesures pour lutter contre le

réchauffement climatique : fluidifier la circulation, apaiser la conduite, partager l'espace avec les transports en commun, informer les usagers des zones encombrées et des itinéraires alternatifs, etc. « Les vitesses et les restrictions de doublement par les poids lourds sont respectées à 90 %, informe Marie-Reine Bakry, responsable de l'Unité zone expérimentale et laboratoire de travail du Centre d'études techniques de l'Équipement du Sud-Ouest, s'appuyant sur des données relevées sur l'auto-route A7 et sur des voies rapides urbaines à Strasbourg et Toulouse (2006). Il y a moins de bouchons, les accidents sont moins nombreux, moins graves, et surtout les secours arrivent plus vite quand nécessaire. Les bénéfices pour l'environnement sont importants mais difficiles à mesurer. En matière de qualité de l'air, les modélisations sont

plus optimistes que la réalité. Nous manquons de stations de mesure ».

ENROBÉS TIÈDES : PEUVENT MIEUX FAIRE

Le séminaire du 1^{er} avril a toutefois donné priorité aux moyens à disposition des acteurs de la route pour ne pas contribuer eux-mêmes au réchauffement climatique. Bien que les produits pétroliers dont le bitume, n'aient pas dit leur dernier mot, qu'en est-il des alternatives aux produits et techniques actuels ?

« De nouveaux matériaux sont testés sur des voies à faible trafic, » informe Richard Pasquet, directeur du Cete Sud-Ouest.

« Les substituts végétaux notamment les liants, occupent des marchés de niche, » ajoute Michel Démarre, président du Comité français de l'Association mondiale de la route (AIPCR).

Les enrobés tièdes - qui conviennent à toutes les couches et tous les trafics, a assuré Didier Thouret, directeur technique et développement de Colas Sud-Ouest - devraient être davantage employés. À qui la faute si ce n'est pas le cas, s'est-on interrogé le 1^{er} avril ? Aux entreprises qui ne les proposent pas assez ou aux maîtres d'ouvrage qui ne les prescrivent pas ? Depuis leur normalisation en 2006, ils peuvent figurer sans problème en appel d'offres. Deux raisons pourraient expliquer leur rareté : les entreprises ne disposent pas partout de matériel pour les fabriquer et les conditions de leur épandage sont plus restrictives que les enrobés à chaud à cause de leur plus basse température.

D'autres solutions très bien connues connaissent un nouvel essor.

« Le recyclage de chaussée pour refaire une couche de surface ou du renforcement structurel, exige un diagnostic de la chaussée et de ses matériaux, et cela a un coût, rappelle Denis Bertaud, directeur technique délégué d'Eurovia Sud-Ouest. Les bénéfices sont indéniables : économie de matériaux, de transport et moindre gêne aux automobilistes avec des travaux sous circulation alternée ».

COPEAUX DE PNEUS EN CHAUSSÉE

Le recyclage de fraisats rencontre également un certain succès. « Le fraisage doit être réalisé avec soin, couche par couche, de façon à récupérer des lots homogènes plus faciles à réutiliser, » conseille Paulo Lopes Monteiro, directeur technique de la Screg Sud-Ouest.

PLUS DE CANICULE ET DE SÉCHERESSE EN 2050

Quel effet aura le réchauffement climatique sur l'activité routière ?

Laure Desmaizières, responsable études et climatologie à Météo France Sud-Ouest, a donné quelques repères lors du séminaire organisé à Bordeaux sur route et changement climatique (voir ci-contre) :

« De 1971 à 2000, la température moyenne en Gironde a augmenté de 1 à 2°C. Le déficit de pluie a augmenté entre 5 et 15 % (les incertitudes sont plus grandes sur les précipitations). En 2050, il pleuvra moins l'été et il fera plus chaud. Sécheresse et canicule seront moins rares et dureront plus longtemps. La neige ne va pas disparaître pour autant ». Le paysage va s'en trouver modifié. « Les essences d'arbres à planter au bord des routes vont changer, a ajouté Richard Pasquet, directeur du Cete Sud-Ouest. Les infrastructures nouvelles traverseront des milieux où la biodiversité sera protégée. Les matériaux vont-ils se comporter de la même façon à température plus élevée, en faudra-t-il de nouveaux ? Quel impact aura la sécheresse sur les ouvrages d'art ? »

LE SUD-OUEST, MOTEUR DU SECTEUR ROUTIER

Les conférences techniques interdépartementales des transports et de l'aménagement (Cotita) comme celle qui s'est tenue à Bordeaux le 1^{er} avril, concrétisent l'article 18 de la loi de décentralisation du 13 août 2004. Elles témoignent de l'engagement des collectivités locales et de leurs groupements dans la recherche et le développement en matière de routes, aux côtés de l'État et de son réseau scientifique et technique. La Cotita du Sud-Ouest est coprésidée par Richard Pasquet, directeur du Centre d'études techniques de l'Équipement du Sud-Ouest, et par Jean-Paul Couffinhal, directeur des infrastructures de Gironde et membre de l'Association des directeurs de services techniques départementaux. Par ailleurs, le département de la Gironde vient d'adopter la convention d'engagement volontaire en faveur du développement durable des acteurs de conception, réalisation et maintenance des infrastructures routières, voirie et espace public urbain, signée au niveau national le 25 mars 2009 (voir revue Travaux mars/avril).

Autre moyen d'économiser des matériaux : réutiliser les existants. Le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Toulouse teste des matériaux inhabituels comme les copeaux de pneus interdits en décharge, les liants hors normes, ou des matériaux inaptes au traitement ([site http://ofrir.lcpc.fr](http://ofrir.lcpc.fr)).

La filière des matériaux n'est pas en reste en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

« Le transport représente 60 % du bilan carbone⁽¹⁾ d'une carrière, depuis l'extraction jusqu'au lieu de consommation en centrale d'enrobés, précise Patrice Gazzarin, président en Aquitaine de l'Union des industries de carrières et de matériaux de construction. C'est donc très important de maintenir un réseau de carrières locales ». Dans la région, 94 % de ces matériaux sont transportés par route et 5 % par fer.

ARTICULER VULNÉRABILITÉ ET EFFET DE SERRE

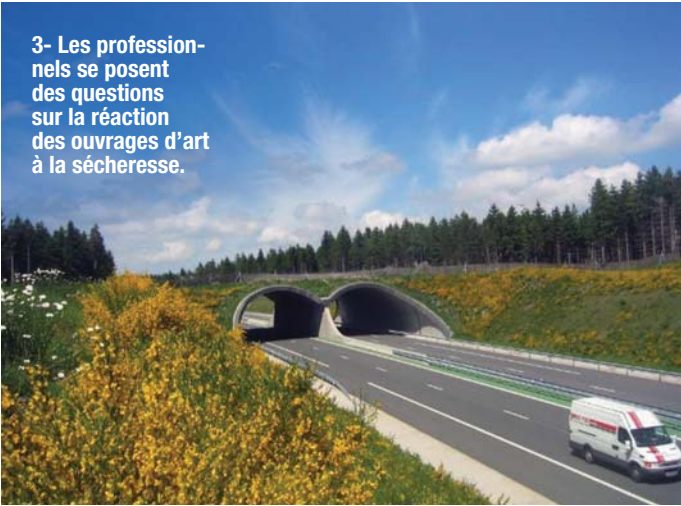
À noter que les fabricants de ciment ont, en dix ans, réduit de 10 % la production de CO₂ inhérente à leur fabrication (opération de décarbonatation) et de 25 % les émissions de ce gaz par des économies d'énergie dans leur process.

Bien que très à la mode, la « réduction des émissions de gaz à effet de serre » à qui est imputée la hausse des températures, ne peut pas être le critère dominant. « Il faut veiller à bien articuler les politiques de réduction de la vulnérabilité aux événements climatiques et celles d'abaissement des émissions de gaz à effet de serre (GES), recommande ▷



2- À la circulation routière, sont imputables 97 % des émissions de gaz à effet de serre en Aquitaine (2006).

3- Les professionnels se posent des questions sur la réaction des ouvrages d'art à la sécheresse.



Fonzi Benkhelifa. Par exemple, protéger les personnes âgées de la canicule par la climatisation, c'est aussi consommer plus d'énergie et contribuer à l'effet de serre ». Privilégier le non-transport de matériaux pourrait inciter à utiliser des alluvions de rivière parce qu'ils sont proches d'un chantier au détriment de la qualité des couches de chaussée, a souligné un participant au séminaire de Bordeaux. « En reportant une part du transport vers le maritime, nous allégeons certains tronçons routiers en Aquitaine mais nous en alourdissons d'autres à proximité des ports, » indique Pierre Baillet, responsable du pôle transport au Centre d'études techniques de l'Équipement (Cete) du Sud-Ouest qui teste une méthode de scénarios d'actions contre le réchauffement climatique. Grâce à cet outil, le Limousin a réussi à abaisser de 15 % ses émissions de CO₂, soit 400 000 tonnes.

PLAN D'ADAPTATION AU RÉCHAUFFEMENT

Le gouvernement estime qu'il est temps de se préparer au changement clima-

tique. « Le plan national d'adaptation est prévu pour 2011 par la loi Grenelle 1 du 3 août 2009, informe Jean-Bernard Kovarik, sous-directeur études et prospective du MEEDDM.

Le groupe de travail sur le transport remet son rapport en juin. Nous devons savoir à quoi nous adapter localement, prendre des mesures réversibles, faire des études de vulnérabilité et dégager des priorités.»

Se rendre moins sensible au changement climatique se conçoit sur le long terme. « Le lien entre territoire (zones constructibles) et l'effet du climat est réel, insiste Fouzi Benkhelifa.

Les collectivités locales résisteront d'autant mieux au changement climatique qu'elles sortiront de la mono-activité, par exemple, le ski. Les trames bleue et verte, favorables à la biodiversité et à la protection des milieux, vont dans ce sens ». □

Pour en savoir plus :
www.construirelavenir.fr

1 - Bilan carbone : outil de l'Ademe.

TRACC EXPLORE LES TECHNIQUES D'ENTRETIEN DURABLE

À Interoute (Metz, 26-28 octobre), il sera question des 15 solutions techniques du programme Techniques routières adaptées au changement climatique (Tracc). La France, l'Espagne et le Portugal sont chargés de cette action européenne visant à développer l'entretien durable. Tracc est piloté par le Cete Sud-Ouest et le LRPC de Toulouse (mai 2009 à fin 2011). Il se décline en plusieurs actions : le bilan des techniques existantes, celui des chantiers expérimentaux pour lesquels nous avons du recul, celui de chantiers plus récents (2009-2011), l'impact socio-économique de ces alternatives et la rédaction de recommandations et fiches techniques. Quatre chantiers de 2010 portent sur le retraitement d'une chaussée déjà retraitée, sur des bétons bitumineux à froid (BBF) 100 % recyclés, et sur le retraitement au liant hydrocarboné hors spécifications.

ÉCOCOMPARATEURS ECORCE ET SEVE

Deux logiciels permettant de comparer des techniques sous l'angle de leur impact sur l'environnement, sont en cours de finalisation. Ecorce émane du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Agnès Jullien).

Basé sur l'analyse du cycle de vie, il dégage les différents impacts de la route sans les cumuler de façon à ce que l'utilisateur puisse agir sur l'un d'entre eux. L'impact sur l'environnement est calculé d'une part, par des indicateurs « entrants » comme les consommations de ressources non renouvelables, d'eau, d'énergie, depuis l'extraction de matériaux jusqu'à leur mise en place en chaussée, et d'autre part, par des indicateurs de rejets vers l'air, l'eau et le sol. Ecorce est testé par le Réseau scientifique et technique de l'État. Il devrait être à disposition des maîtres d'ouvrage cette année. Chaque métier peut l'appréhender à son niveau.

Le second logiciel, Seve, a été conçu par l'Union des syndicats de l'industrie routière française (Christine Leroy). Grâce à lui, les entreprises peuvent proposer des variantes dans leur réponse à un appel d'offres sur une base commune. Les maîtres d'ouvrage compareront des solutions comparables. Il utilise quatre indicateurs : économies d'énergie, émissions de CO₂, économies de matériaux naturels et tonnage d'agrégats d'enrobés recyclés. Cet outil concrétise un des engagements pris par les acteurs de la route dans la convention d'engagement volontaire en faveur du développement durable (25 mars 2009). Actuellement en test en entreprises, il devrait être généralisé au début de l'été, et accessible aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage, d'ici la fin de l'année.

4- Le transport représente 60 % du bilan carbone d'une carrière, d'où l'importance de conserver les sites locaux.



© CETE SUD OUEST

DES COUCHES DE ROULEMENT POUR CHAQUE USAGE

AUTEUR : HUGUES ODÉON, RÉFÉRENT CHAUSSÉES AU CETE DE L'EST

LA COTITA EST A ORGANISÉ LE 16 MARS DERNIER AU LRPC DE NANCY UNE JOURNÉE TECHNIQUE INTITULÉE « COUCHES DE ROULEMENT : QUOI DE NEUF ? ». SON BUT ? RAPPELER AUX DIFFÉRENTS ACTEURS DU DOMAINE DE LA RÉGION GRAND EST LES CHAMPS D'APPLICATION DE CHAQUE TECHNIQUE, ET LEURS LIMITES D'UTILISATION. PARCE QUE SI LES TECHNIQUES ROUTIÈRES SONT AUSSI SOUMISES AUX EFFETS DE MODE, LA DURABILITÉ DE LA ROUTE PASSE AVANT TOUT PAR LE CHOIX DE TECHNIQUES ADAPTÉES.



Le LRPC de Nancy avait fait salle comble en accueillant, en mars dernier, plus de 180 participants représentant largement l'ensemble de la communauté routière, des maîtres d'ouvrage aux entreprises en passant par les bureaux d'études ou les laboratoires de contrôle. Alternant présentations techniques et temps de questions réponses, la journée a permis de redéfinir clairement le cadre technico-économique des différentes techniques offertes aux maîtres d'ouvrage, et à chacun d'exprimer dans un débat vivant et ouvert ses interrogations, ses doutes, et ses expériences négatives. C'est aux gestionnaires qu'il fut donné de définir en premier lieu leurs attentes. État et départements ont ainsi exprimé leurs exigences, compromis propre à chacun entre sécurité, conservation du patrimoine et équilibre financier. Chiffres à l'appui, le représentant de la DIR Est et celui des Conseils Généraux ont

dressé l'état des lieux de leur réseau et de leur politique d'entretien, et exprimé clairement les points sur lesquels ils attendaient des propositions innovantes de la profession. Le débat était lancé. Premier type de réponse : les enrobés bitumineux. Après un panorama des différentes techniques disponibles, les interventions insistèrent sur les innovations en termes de sécurité, de recyclage et d'innovations diverses. Représentants du RST et des entreprises apportèrent, qui en partant des textes de références, qui des techniques disponibles, leurs éclairages propres à ces techniques connues de tous, mais pourtant en pleine mutation. Il est ainsi ressorti des échanges que l'incorporation des agrégats, déjà pratiquée dans la région Est, devrait être plus systématiquement encouragée en solution de base, afin de permettre la mise à niveau des moyens de production industrielle, favorable à l'obtention de matériaux de qualité.

D'autres techniques plus confidentielles, comme les enrobés « consommateurs » de polluant, ont également été évoquées, avec des avis partagés. Deuxième famille de solutions : les couches de roulement en béton de ciment. C'est cette fois le responsable du laboratoire de la communauté urbaine de Strasbourg qui est venu témoigner, photos à l'appui, tout le bien qu'apportent les techniques béton à certaines problématiques urbaines : arrêts de bus, pistes cyclables, zones de fret ou chaussées sur parking sous-terrain. La profession a complété le panel des solutions possibles à base de béton de ciment, quasi-illimité paraît-il si l'on en croît l'intervenant, passionné et passionnant. Troisième et dernière famille de techniques évoquées : celle des revêtements superficiels. Représentants du RST et des entreprises se sont à nouveau relayés pour expliquer les techniques,

leurs réussites et leurs limites, et évoquer les évolutions normatives attendues. Il était utile de rappeler, notamment dans ce domaine où l'enrobé coulé à froid a supplanté parfois abusivement l'enduit superficiel, que les échecs rencontrés sont généralement dus à des contres-emplois du matériau : ECF sur support déformable ou dégradé, travaux en arrière saison...

Que retenir de cette journée ? Elle a tout d'abord fait ressortir une grande écoute des différents participants, associée à une envie de partager réussites et échecs. Des lieux d'échanges libres entre acteurs du domaine de la route manquent cruellement : les rencontres ont le plus souvent lieu dans le cadre de chantier ou de marché, où chacun est prisonnier de son rôle. Un des points forts de la journée est certainement la proposition de mettre en place à travers la Cotita des groupes d'échanges, pour définir ensemble les pistes de réflexion, de recherche, d'expérimentation et de progrès.

Ces groupes d'échanges auront entre autres pour mission de réfléchir à l'évolution du référentiel technique, pour proposer des corrections de spécifications jugées parfois trop exigeantes, et dont les effets secondaires s'avèrent dans le temps plus dommageables que le problème qu'elles étaient censées résoudre. À titre d'exemple, la question a été posée par les participants de savoir si la circulaire Adhérence de 2002 n'a pas fait évoluer la macro-texture des couches de roulement vers des valeurs favorables à la perméabilité des enrobés, problématique en cas de gel.

Enfin, l'innovation doit être encouragée. Le RST peut, dans ce cadre, apporter son expertise pour valoriser les techniques pertinentes, de façon objective. L'État ne supportant plus seul la démarche vers l'innovation, ce sont aujourd'hui tous les maîtres d'ouvrage qui doivent se prendre en charge et contribuer, chacun en ce qui le concerne, aux progrès des techniques. Ainsi, le CG 67 va lancer une expérimentation en transposant la technique du Stone Mastic Asphalt (matériau plus fermé car plus riche en liant que les bétons bitumineux français, très utilisé Outre-Rhin) sur une RD très circulée du Bas-Rhin. Le but est d'évaluer la durabilité de ce type de matériau, notamment vis-à-vis de l'adhérence et de la fissuration de surface, sans pour autant poser de problème d'ornièrage. □



- 1- Mise en oeuvre d'un béton bitumineux avec atelier de répandage composé d'un finisseur équipé de poutres enjambeuses et d'un alimentateur.**
- 2- Dégradation de la couche de roulement : fissuration longitudinale en axe de voie lente.**
- 3- BCMC (Béton de Ciment Mince Collé) en agglomération.**
- 4- Mise en oeuvre d'un ECF (Enrobé Coulé à Froid) en agglomération.**



BARRIÈRES DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE : AU-DELÀ DE LA FABRICATION, LE SERVICE

REPORTAGE DE DELPHINE DÉSVEAUX

DÉJÀ PREMIER FOURNISSEUR MONDIAL D'ACIER POUR LA CONSTRUCTION, ARCELORMITTAL ENTRE AUJOURD'HUI DANS UNE DÉMARCHÉ D'ACCOMPAGNEMENT DES FABRICANTS DES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ EN LEUR APPORTANT LES MOYENS NÉCESSAIRES POUR INTÉGRER LES NOUVELLES NORMES EUROPÉENNES ET FACILITER LES DÉMARCHES DE CERTIFICATION.

Face à l'incertitude d'un marché éminemment cyclique, la nécessité se fait sentir d'assurer des constantes - le conseil et le service -, consolidant ainsi la transversalité de la filière acier dans les domaines de la construction et du génie civil. Dans ce dernier secteur et grâce à son expertise en matière de qualité d'acier, ArcelorMittal est à même de proposer de nouveaux produits, de la poutrelle de pont aux panneaux acoustiques pré-assemblés en passant par les glissières de sécurité routière. En aval, le leader mondial européen de la sidérurgie a mis au point une batterie d'outils et de logiciels permettant la modélisation numérique de tous les paramètres de sécurité.

COMPLÉMENTARITÉ DES SAVOIR-FAIRE EUROPÉENS

Pour bien comprendre cette évolution, il faut revenir à la fusion d'Arcelor et de Mittal qui a permis de mixer deux approches : la fabrication de produits d'une part, le soutien commercial de la filière d'autre part. La première, centrée sur les caractéristiques techniques du matériau, vise à fournir une offre améliorée des produits. Elle repose sur le marché d'Europe Centrale, principalement la Tchéquie, la Pologne, et les Balkans, grands fabricants de solutions complètes de glissières. La seconde, à la fois commerciale et stratégique, répond à une forte demande des pays de l'Ouest depuis l'apparition en 2000

de la norme européenne EN 1317. De la capacité à résister à une petite voiture citadine jusqu'au 38 t en passant par un train, la norme européenne a défini huit types de barrière, chacune répondant à un critère de vitesse, de poids du véhicule, de nature du trafic, d'autorisation de déformation compte tenu du site (montagne ou plaine) ou du niveau d'exigence des pays (assez faible en France, contrairement à l'Italie). Bien sûr, il existe d'autres dispositifs de sécurité, notamment en béton avec lequel l'acier se partage le marché mondial, ou le système des bacs à sable sur les terre-pleins centraux (le choix de l'emprise foncière est alors à intégrer dans l'équation économique globale).

DES LOGICIELS DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Le marché français était jusqu'en 2000 basé sur des prescriptions normalisées (produits basiques, marchés de commodité...). La nouvelle norme a bouleversé la donne en ouvrant le marché à des prescriptions basées sur les performances proches des « crash tests » automobiles. ArcelorMittal a alors joué sur la complémentarité Est/Ouest en alliant industrialisation de solutions complètes à l'Est, besoin d'innovation et coordination commerciale à l'Ouest pour conquérir de nouveaux marchés et proposer de nouvelles solutions à base d'aciers à hautes résistances. Soucieux de développer cette filière autant que de promouvoir une image

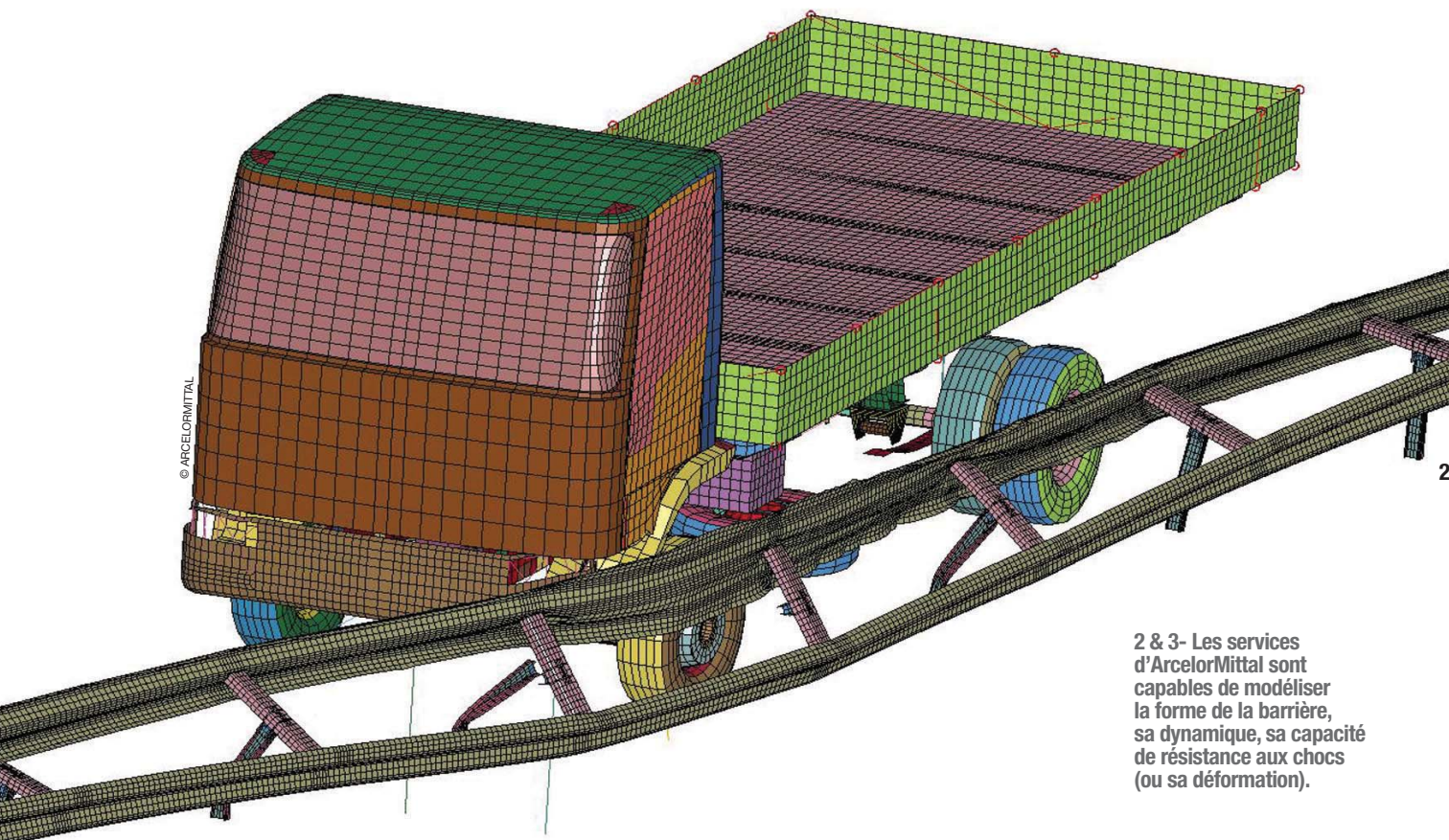
« **ARCELORMITTAL S'EST EMPLOYÉ À DÉVELOPPER DES LOGICIELS DE SIMULATION NUMÉRIQUE EXTRÊMEMENT COMPLEXES POUR PRENDRE EN COMPTE TOUS LES PARAMÈTRES DE SÉCURITÉ** »

axée sur la sécurité routière, ArcelorMittal s'est employé à développer des logiciels de simulation numérique extrêmement complexes pour prendre en compte tous les paramètres de sécurité : positionnement des attaches, nature du sol, profil du véhicule, vieillissement des produits, design de la barrière, absorption de l'énergie cinétique du véhicule... « Aujourd'hui, avant de faire des tests en situation réelle, nos services sont capables de modéliser la forme de la barrière, sa dynamique, sa capacité de résistance aux chocs (ou sa déformation) » explique Patrick Le Pense, Directeur Général du département Innovation et Construction. « Grâce à nos partenariats historiques avec les fabricants d'automobiles, nous connaissons également le comportement de l'auto ainsi que celui de la personne lors de l'impact.

Cette expertise technique nous a permis d'intégrer une ingénierie capable d'anticiper les performances des produits. Les essais grandeur nature sont ensuite réalisés avec le client, qui réadapte en fonction de ses besoins précis, mais la simulation est souvent assez proche de la réalité ».

À ce jour, ArcelorMittal est le seul sidérurgiste à avoir développé ces moyens de simulation et à les proposer à ses clients.

L'intérêt pour ces derniers (essentiellement des fabricants de barrières mais aussi des grands maîtres d'ouvrage), qui disposent rarement de ces logiciels



2 & 3- Les services d'ArcelorMittal sont capables de modéliser la forme de la barrière, sa dynamique, sa capacité de résistance aux chocs (ou sa déformation).

onéreux, est évident : tenus à l'homologation, ils peuvent connaître précisément la qualité de leurs produits avant de réaliser l'incontournable test en conditions réelles. Cela leur épargne des investissements coûteux et des démarches empiriques. Donc du temps et de l'argent.

INFORMATION ET LOBBYING

Maîtriser de A à Z et favoriser la filière acier, voilà les enjeux stratégiques que s'est fixé le département Innovation et Construction d'ArcelorMittal.

Cela commence par la sidérurgie et finit par la promotion de la filière en passant par fabrication de produits aboutis. La promotion est assurée aujourd'hui par une sensibilisation et des actions de promotion auprès des autorités, de différents états et de la Commission de normalisation européenne.

« Nous essayons de promouvoir les barrières les plus sécurisantes possibles dans l'intérêt de l'usager ajoute Éric Moscato, Directeur Stratégie Construction. C'est pourquoi nous proposons aux commissions de normalisation d'élever les niveaux de sécurité en fonction d'un certain nombre de critères : nature du trafic routier, résistance au déplacement et vieillissement de la barrière, décélération subie par les occupants de la voiture, etc. ».

STRATÉGIE GAGNANT / GAGNANT

Des accords de partenariats services/produits ont récemment été conclus avec

certains fabricants : citons notamment le leader mondial allemand Volkman et le hollandais Prinz.

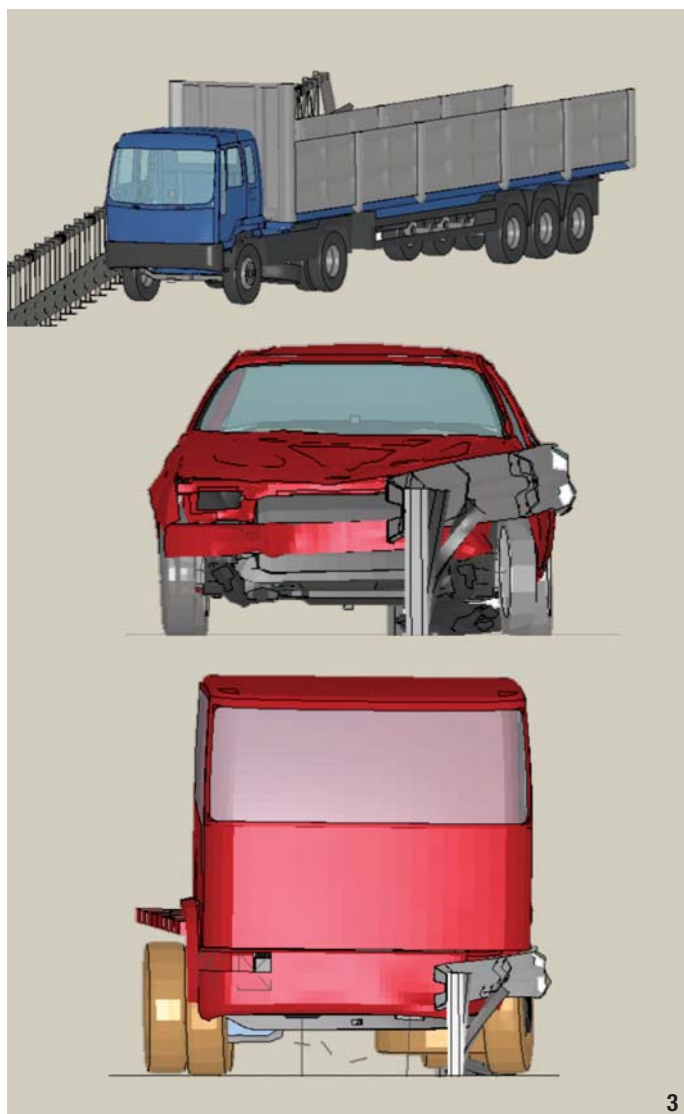
Des accords avec la filière béton (dans le béton, il y a de l'acier !) ne sont pas exclus. Et des campagnes de sensibilisation des pouvoirs publics sont en cours. Au regard de la concurrence, ArcelorMittal fait la différence.

Par intérêt économique, bien sûr, puisque cette stratégie défend la filière sidérurgique, mais également la promotion commerciale des produits de la maison, et enfin par conviction, en défendant une meilleure sécurisation pour tous, la sécurité étant une des valeurs clés du groupe.

Les chiffres montrent que le marché européen de la glissière de sécurité s'élève à 1 million de tonnes - bien peu au regard du marché mondial. C'est dire le champ d'ouverture.

Les perspectives sont larges car les idées ne manquent pas : qu'il s'agisse de barrières lumineuses, de protections en faveur des piles de pont ou des motards, qui ont globalement une mauvaise image de la barrière de sécurité, ou encore de l'évolution de la réglementation européenne avec l'arrivée de camions plus lourds (60 t).

Cette stratégie gagnant/gagnant promet la filière acier en apportant un service de modélisation numérique, une assistance sur le développement des produits et des conseils personnalisés. À charge pour le client d'acheter de l'acier... ArcelorMittal. □



AMÉNAGEMENT DES OUVRAGES D'ART DE L'ITINÉRAIRE ITER

AUTEURS : NADIA FABRE, INGÉNIEUR EN CHEF DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ÉTAT, CHEF DE L'UNITÉ MAÎTRISE D'OUVRAGE, SERVICE TRANSPORTS-INFRASTRUCTURES, DREAL PACA - OLIVIER BONIFAZI, RESPONSABLE BE, CHEF DE PROJET OA, EGIS JMI - GUILLAUME DANAN, INGÉNIEUR OA, EGIS JMI - JOCELYN BOUCHUT, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, EGIS GÉOTECHNIQUE ET MATÉRIAUX - ERIC WALINE, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EGIS ROUTE

LA CONSTRUCTION DU RÉACTEUR EXPÉRIMENTAL ITER NÉCESSITE L'ACHEMINEMENT DE COMPOSANTS DE DIMENSIONS ET DE POIDS EXCEPTIONNELS ENTRE L'ÉTANG DE BERRE ET LE SITE DU CEA À CADARACHE, OÙ ILS DOIVENT ÊTRE ASSEMBLÉS. DANS CE CADRE, IL A ÉTÉ NÉCESSAIRE D'AMÉNAGER, À PARTIR DU RÉSEAU ROUTIER EXISTANT, UN ITINÉRAIRE SPÉCIFIQUE SUR UNE CENTAINE DE KILOMÈTRES. CET ARTICLE DÉCRIT LES ÉTUDES DE CONCEPTION DES AMÉNAGEMENTS RELATIFS AUX OUVRAGES D'ART EXISTANTS POUR LES RENDRE COMPATIBLES AVEC LE PASSAGE DES CONVOIS ITER.

CONVOIS EXCEPTIONNELS

Parmi les différents pays partenaires, c'est la France qui a été choisie en juin 2005 pour accueillir le futur réacteur expérimental de fusion nucléaire Iter. La construction du réacteur, qui sera implanté sur le site du CEA à Cadarache, nécessite l'assemblage sur place de gros composants fabriqués par les différents pays partenaires et acheminés par bateau jusqu'au port de Fos-sur-mer. C'est à partir de 2011 au plus tôt, et pendant cinq ans environ, que près de 200 convois de poids et de dimensions exceptionnels utiliseront de nuit un itinéraire spécialement aménagé sur une centaine de kilomètres, entre Berre et Cadarache.

L'aménagement de cet itinéraire, qui s'efforce d'emprunter au maximum les infrastructures existantes et de minimiser ainsi la création de pistes ou de routes neuves, consiste en :

- La mise à niveau des routes existantes pour les rendre compatibles en capacité et en gabarit avec les différents types de convois qui vont les emprunter ;
- La création de pistes ou de voies nouvelles nécessaires dans le cas où

les voies existantes ne peuvent pas être utilisées ;

→ La mise à niveau des ouvrages d'art existants, voire leur reconstruction, pour les rendre compatibles avec les charges transportées ;

→ La création d'un appontement spécifique dans le port de La Pointe à Berre.

PLUS DE 70 CHANTIERS DISTINCTS

Par rapport à une étude classique d'aménagement routier, celle de l'itinéraire Iter a nécessité de prendre en compte différentes problématiques, en raison de la nature et de l'importance des convois qui emprunteront l'itinéraire aménagé, du caractère temporaire de la circulation de ces convois et de la discontinuité géographique des aménagements nécessaires. De plus, le projet doit respecter des contraintes environnementales fortes (faune, flore, abattage des arbres, protection des cours d'eau, suivi environnemental du chantier). Ces exigences ont conduit à décomposer le projet en plus de 70 chantiers distincts du point de vue fonctionnel et géographique :

→ Infrastructures : rectification ou élargissement de routes, modification des équipements routiers (candélabres, panneaux, îlots), aménagement de carrefours (dont une vingtaine de giratoires), protection de réseaux ;

→ Ouvrages d'art ;

→ Création d'un quai au port de La Pointe ;

→ Élagage, abattage et replantation d'arbres ;

→ Aménagements paysagers.

Dans cet article, nous nous intéresserons uniquement à la question des ouvrages d'art. L'itinéraire compte 144 ouvrages existants, de typologies très variées (voir encadré). Le projet comprend également l'ouvrage du quai du port de La Pointe, ainsi que l'aménagement du défilé de Mirabeau.

CARACTÉRISTIQUES DES CONVOIS ITER

Au démarrage des études, les caractéristiques des convois n'étaient pas connues précisément. Une gamme complète de convois types était en revanche définie à partir du poids et de l'encombrement des colis à transporter, et ce pour différentes configurations de

remorques de transporteurs spécialisés. Parmi tous ces convois particulièrement lourds, quatre d'entre eux ont été identifiés comme enveloppes et sont susceptibles de présenter un caractère dimensionnant pour les ouvrages d'art (voir tableau 1 et figures 2 et 3).

L'effort horizontal de motricité des convois a également été pris en compte. Il dépend de la pente des ouvrages et du nombre d'essieux tracteurs sur ces derniers, et peut aller jusqu'à 90 t. Ces efforts horizontaux maximaux sont générés par des convois enveloppes autres que ceux présentant les charges les plus lourdes.

Les hypothèses de calcul prises en compte pour le dimensionnement des ouvrages sont les suivantes :

→ Les poids des colis étant strictement encadrés, le coefficient de pondération des surcharges a été limité à 1,05 ;

→ Les convois devant circuler à vitesse réduite, on n'a pas tenu compte d'un coefficient de majoration dynamique. Aucun effort de freinage particulier n'a été pris en compte non plus ;

→ Il est prévu que les convois circulent de façon centrée sur les ouvrages (marquage sur les chaussées), avec





une tolérance d'excentricité transversale fixée à 25 cm ;
 → Les ouvrages sont situés en zone sismique II.

Par ailleurs, certains ouvrages se situent sur des itinéraires de convois exceptionnels dits classiques, qui doivent pouvoir circuler à tout moment et sans préavis pendant les travaux.

CAPACITÉ PORTANTE DES OUVRAGES D'OUVERTURE SUPÉRIEURE À 5 M

Dans le cadre des études d'avant-projet, la capacité portante des ouvrages existants à accepter dans l'état le passage des convois Iter a tout d'abord été estimée. Du fait de l'absence quasi systématique des notes de calculs de récolement des ouvrages, l'étude de portance a été menée de façon théorique, en comparant les sollicitations sous convois Iter à celles sous surcharges réglementaires, pour lesquelles l'ouvrage est censé avoir été dimensionné. Lorsque les plans de coffrage n'existaient pas, cette étude s'est basée sur des levés in situ des structures existantes.

Dans le cas particulier des ouvrages

voûtés en maçonneries, leur capacité portante a été vérifiée à l'aide du programme « voûte » du Setra.

La géométrie des voûtes a été reconstruite par l'intermédiaire de levés topographiques pour l'intrados, et de sondages destructifs pour l'épaisseur des maçonneries et leur géométrie d'extrados. Les caractéristiques mécaniques des

maçonneries ont été appréciées sur la base d'écrasements de prélèvements par sondages carottés.

En conclusion de cette première phase d'étude, il est apparu que, sur les 26 ouvrages existants, seuls quatre d'entre eux avaient la capacité portante requise (ouvrages d'ouverture ou de portée les plus faibles).

OUVRAGES D'OUVERTURE INFÉRIEURE À 5 M

La principale difficulté a consisté à établir un recensement exhaustif de ces petits ouvrages, dont la liste initiale n'était pas certaine et dont, bien évidemment, aucun dossier de récolement n'était disponible.

Une enquête de terrain minutieuse a donc été nécessaire, d'une part pour les repérer, d'autre part pour en préciser les caractéristiques (type de structure, dimensions, couverture de remblai, état général).

Comme précédemment, l'estimation de leur capacité portante au passage des convois Iter a été menée par comparaison entre les charges Iter et les charges routières réglementaires pour lesquels ces ouvrages sont censés être dimensionnés.

Ces comparaisons ont été effectuées sur la base des pressions exercées par les charges roulantes sur l'ouvrage et déterminées selon les errements habituellement pris en compte pour les types de structures concernées :

→ Méthodes de diffusion de charges routières au travers du remblai de couverture telles que développées dans les ▽

LES 144 OUVRAGES D'ART EXISTANTS SUR L'ITINÉRAIRE ITER

26 OUVRAGES D'OUVERTURE OU DE PORTÉE SUPÉRIEURE À 5 M :

- 4 ouvrages avec tablier à poutres précontraintes par post-tension (VIPP).
- 11 ouvrages voûtés en maçonneries ou en béton armé.
- 2 ouvrages avec tabliers en dalle béton armé (PIDA).
- 3 ouvrages avec tabliers en poutres précontraintes par fils adhérents (PRAD).
- 3 ouvrages avec tabliers en poutrelles métalliques enrobées (PIPE).
- 3 ponts-cadres ou portiques en béton armé (PICF-PIPO).

118 OUVRAGES D'OUVERTURE INFÉRIEURE À 5 M :

- 69 buses en béton ou métal.
- 14 voûtes en maçonneries ou en béton armé.
- 26 dalots et cadres en béton armé.
- 9 dalots en pierre.

guides du Setra (cas des dalots, voûtes et buses métalliques) ;

→ Abaques de dimensionnement du fascicule 70 du CCTG (cas des buses de petits diamètres).

En conclusion de cette phase d'étude, il est apparu que :

→ Toutes les buses de petits diamètres (au nombre de 65) présentaient la capacité portante requise. Ces ouvrages de petites dimensions ne sont en effet impactés que par un seul essieu des convois Iter, dont la charge n'est guère plus importante que celle des charges civiles réglementaires ;

→ Un dalot sur 35, deux buses de gros diamètre sur sept et sept voûtes en maçonneries sur 14 ne présentaient pas la capacité portante requise.

Indépendamment du critère de portance théorique, l'état général des ouvrages et, pour certains, leurs caractéristiques atypiques, ont bien entendu été prépondérants dans le diagnostic final quant à leur aptitude à recevoir le passage des convois. Pour l'ensemble de ces petits ouvrages, le passage de convois tests (tandems de charges identiques à deux essieux Iter) a par ailleurs été jugé indispensable pour les raisons suivantes :

- Possibilité d'ouvrages non repérés ;
- Ouvrages non accessibles et non visitables (caractéristiques et état) ;
- Validation de l'appréciation théorique de leur capacité portante.

PAS DE RENFORCEMENT DE L'EXISTANT

Au niveau des études de projet, le principe de renforcement des structures existantes n'a pas été retenu en raison : de dépassements de capacité portante trop importants, à la fois pour le tablier et pour les appuis ; de trop grandes incertitudes sur les caractéristiques structurelles réelles des ouvrages (absence ou insuffisance des dossiers de récolement) ; et de la pathologie affectant bon nombre des ouvrages. Seul un ouvrage de type PRAD a fait l'objet en travaux d'une variante d'entreprise par renforcement du tablier par précontrainte additionnelle.

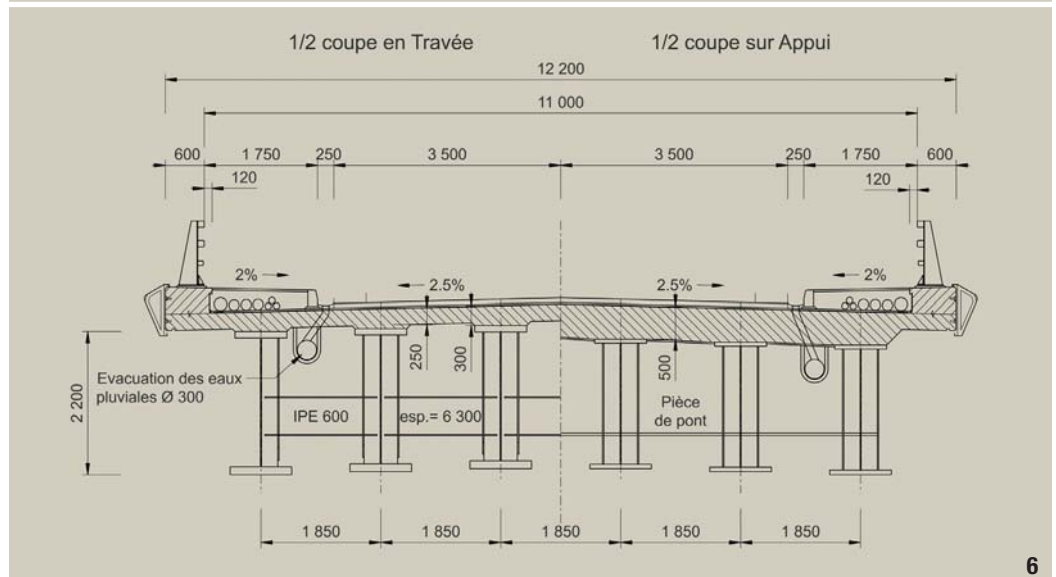
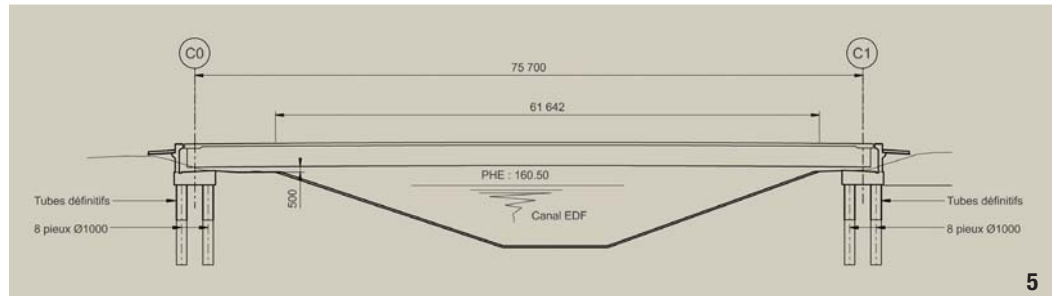
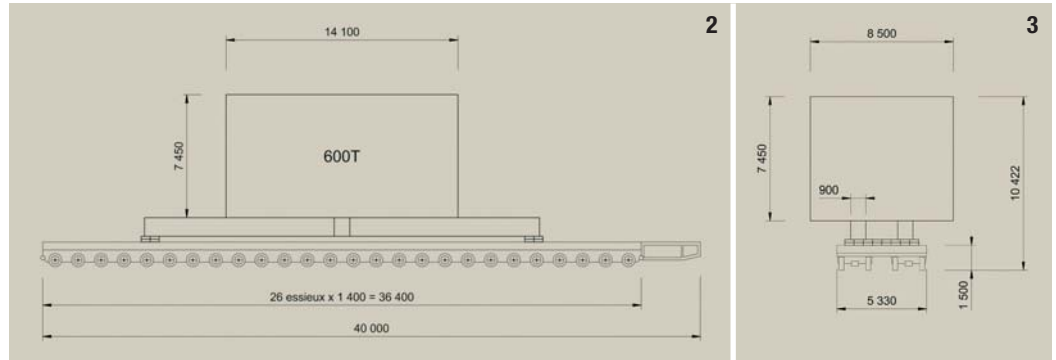
OUVRAGE NEUF EN PARALLÈLE

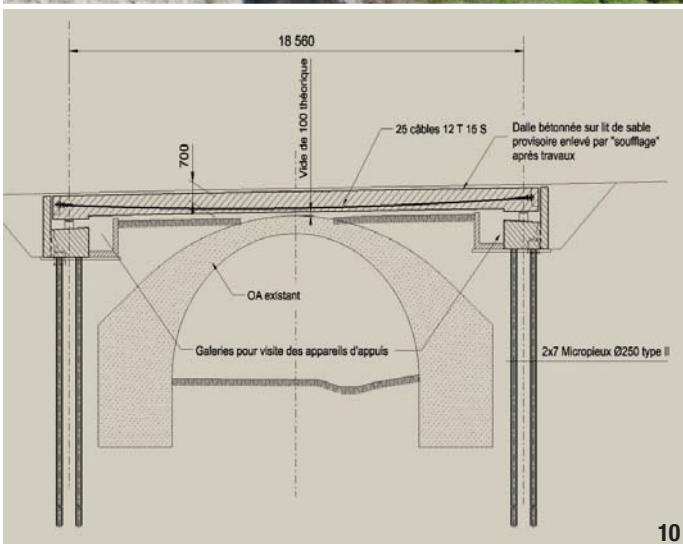
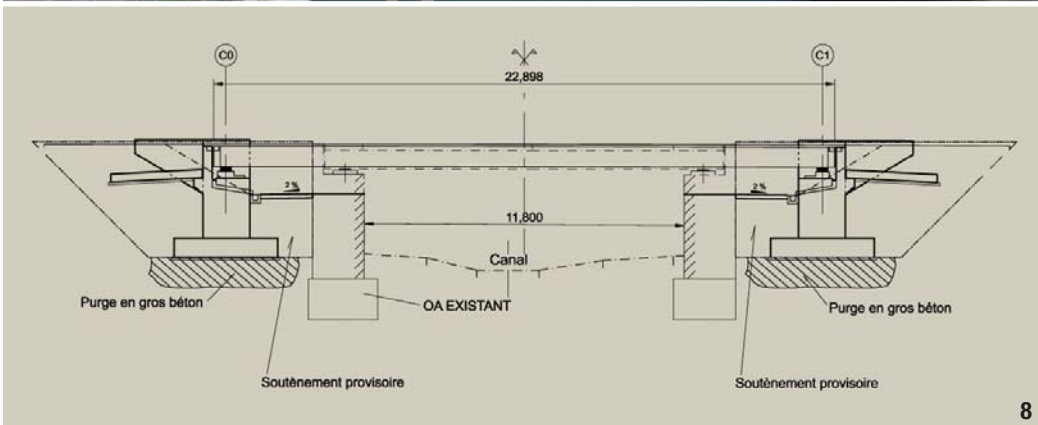
La solution « ouvrage d'art neuf définitif en parallèle » (cinq ouvrages concernés) a été adoptée lorsque l'ouvrage existant était affecté de pathologies significatives et que son environnement autorisait une rectification géométrique de la voie portée. Les deux ouvrages existants de franchissement du canal EDF illustrent ce cas.

Il s'agit de VIPP dont les poutres présentent des défauts d'injection des câbles de précontrainte, bien connus pour ce type d'ouvrage de première génération (photo 4). Compte tenu des contraintes de réalisation qui interdisent notamment toute implantation d'appui (définitif et provisoire) dans le canal EDF,

TABLEAU 1

| | Poids (t) | Longueur (m) | Largeur (m) | Pression (t/m ²) | Ligne d'essieu | | |
|----------|-----------|--------------|-------------|------------------------------|----------------|----------|------------|
| | | | | | Nombre | Esp. (m) | Charge (t) |
| Convoi 1 | 877 | 36,40 | 5,33 | 4,52 | 26 | 1,40 | 33,73 |
| Convoi 2 | 773 | 34,10 | 6,38 | 3,55 | 22 | 1,55 | 35,14 |
| Convoi 3 | 703 | 28,00 | 5,33 | 4,71 | 20 | 1,40 | 35,15 |
| Convoi 4 | 703 | 34,10 | 6,38 | 3,23 | 22 | 1,55 | 31,95 |





lit de sable qui est ensuite enlevé par soufflage, pour éviter le report de charges sur l'ouvrage existant. Les appuis, de part et d'autre, sont fondés sur des micropieux plutôt que sur des pieux qui auraient nécessité l'emploi du trépan, susceptible de désorganiser les maçonneries (photo 9 et figure 10).

OUVRAGE PROVISOIRE EN PARALLÈLE

Lorsque l'ouvrage existant est en bon état et que les emprises autorisent une rectification géométrique locale de la voie portée (six ouvrages concernés), on a prévu la construction d'un ouvrage provisoire spécifique au passage des convois Iter. Cette solution a également été préférée lorsque les sujétions et contraintes de réalisation sous circulation étaient importantes (elle fiabilise aussi la maîtrise des aléas de chantier, donc des délais et des coûts). Bien qu'il s'agisse essentiellement d'ouvrages de faible portée, les solutions de ponts provisoires préfabriqués du commerce n'étaient pas nécessairement adaptées aux charges et encombrements des convois. On a donc retenu des structures de tabliers à poutres précontraintes PRAD ou à poutrelles enrobées. Par ailleurs, compte tenu du caractère provisoire de ces ouvrages, ils ne répondent à aucune exigence particulière de durabilité et sont dépourvus de superstructures (étanchéité, couche de roulement, joint de chaussée, aléa sismique non pris en compte – figures 11 et 12).

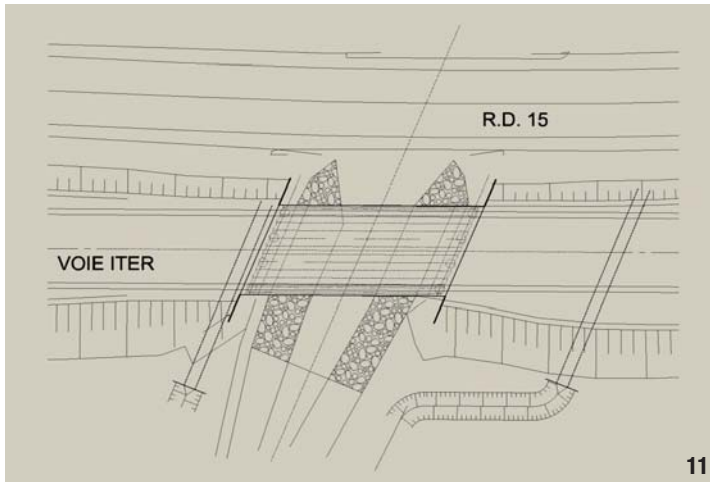
l'ouvrage projeté est une travée isostatique multipoutre à ossature mixte. La charpente métallique est mise en place par lançage (figures 5 et 6).

OUVRAGE NEUF EN PLACE

La solution « ouvrage d'art neuf définitif en place » (sept ouvrages concernés) a été adoptée lorsque l'ouvrage existant était affecté de pathologies significatives et que son environnement n'autorisait pas de rectification géométrique de la voie portée. Dans de tels cas, le principe retenu consiste à enjamber l'ouvrage existant au moyen d'un tablier neuf reposant sur de nouveaux appuis implantés en arrière des existants. Ces ouvrages étant reconstruits sur place, les conditions de maintien de la circulation routière ont nécessité un phasage transversal de réalisation par demi-tabliers, avec circulation alternée. Pour la plupart, les ouvrages concernés sont des ponts à travées isostatiques de faible portée (photo 7 et figure 8). Autre exemple d'application : le franchissement de voûtes en maçonneries existantes, pontées par une dalle isostatique en béton armé (ou en béton précontraint, selon la portée). La dalle est bétonnée à même le sol, sur un

CAS PARTICULIERS

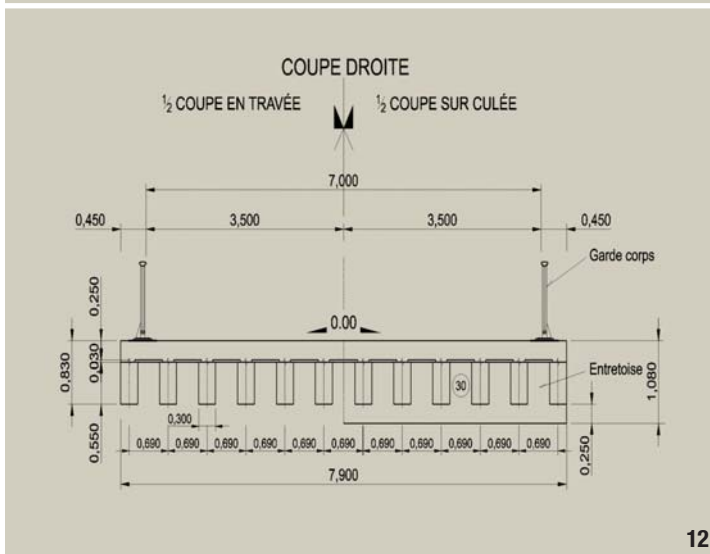
Certains ouvrages existants devaient répondre à des contraintes particulièrement sévères, notamment l'interdiction de toute restriction de circulation routière sur la voie portée et l'impossibilité de rectification de tracé (emprises foncières, environnement urbain). Ces ouvrages, au nombre de cinq, ont donc été totalement réaménagés en sous-œuvre. Le premier exemple est celui d'un cadre fermé en béton armé qui a fait l'objet d'un chemisage intérieur structurant en béton connecté à l'existant. Dans les zones de moments de flexion négatifs, le chemisage apporte le bras de levier supplémentaire nécessaire pour que les armatures en place puissent reprendre les sollicitations sous convoi Iter. Dans les zones de moments de flexion positifs, des armatures de béton armé sont rapportées dans l'épaisseur du chemisage pour reprendre les sollicitations sous convoi Iter (photo 13 et figure 14).



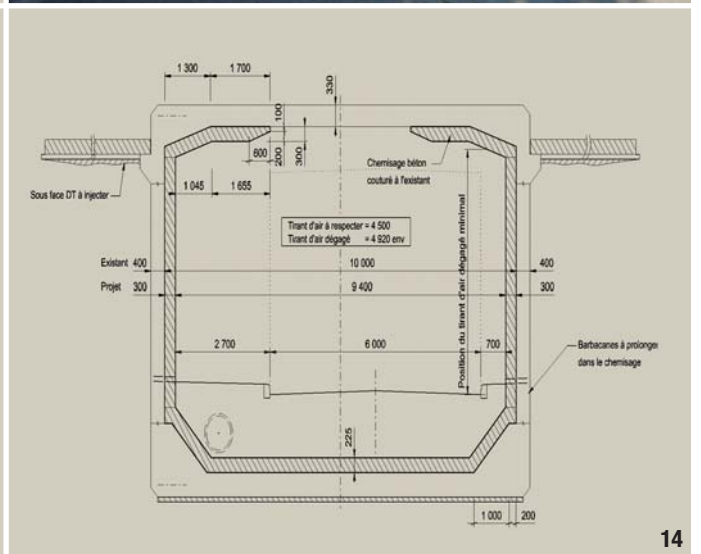
11



13



12



14

Le deuxième exemple est celui d'une voûte en maçonneries déjà élargie par le passé avec une travée isostatique en poutrelles enrobées. La circulation du convoi iter étant prévue sur cette partie élargie, la solution projetée a consisté à reconstruire en sous-œuvre une voûte en béton armé de géométrie d'intrados identique à l'ouvrage adjacent et à recouper la travée isostatique en trois travées continues pour diminuer l'ensemble des sollicitations et les rendre compatibles avec le dimensionnement de la structure en place (photo 15 et figure 16).

DÉFILÉ DE MIRABEAU

Le mur de soutènement de Mirabeau se situe sur la commune de Jouques (13). Il permet de franchir le défilé de Mirabeau, goulet d'étranglement naturel où passe la Durance, entre deux falaises calcaires. L'itinéraire du convoi emprunte l'actuelle RD952, située à flanc de falaise et surplombant la Durance d'une hauteur de 10 à 15 m. Le mur de soutènement s'étend sur trois tronçons séparés par des éperons rocheux naturels, sur

une longueur totale de 320 m. Il permet un élargissement variable de 2 à près de 10 m de la route existante (passage piétonnier inclus), notamment en raison des contraintes de giration des convois (photos 1 et 17). Les études menées en phase projet ont conduit à retenir la solution technique d'un mur en sol renforcé, constitué de deux pans décalés et séparés par une terrasse reposant sur un remblai d'assise protégé par des enrochements. Ce choix s'est fait en raison de l'importance de l'élargissement et de la grande variabilité des profils de l'ouvrage existant : mur en maçonnerie (avec la présence de huit voûtes traversantes ou borgnes), talus anthropique, enrochements, sachant que les profils étaient caractérisés par des pentes et hauteurs extrêmement variables. Dans ce contexte, la solution de mur en sol renforcé s'est avérée la plus souple, permettant de bien s'adapter à la variabilité du site. La spécificité de l'ouvrage résidait notamment dans les multiples contraintes du site et de l'existant :
→ Contrainte topographique avec la falaise subverticale de 70 m de hauteur

qui surplombe la RD952, obligeant à un élargissement côté aval uniquement ;
→ Contrainte hydraulique avec la présence du lit majeur de la Durance en pied et le franchissement de trois thalwegs transversaux. La protection par enrochements a été dimensionnée pour une crue de la Durance à 6 000 m³/s, soit au-delà de la crue centennale ;

→ Intégration de l'ouvrage dans le site naturel et patrimonial (deux monuments classés à proximité) : la terrasse du mur en sol renforcé fait l'objet d'un aménagement paysager et le parement du mur est architecturé. D'un point de vue technique, l'ouvrage est constitué à la base d'un remblai de substitution surmonté d'un remblai

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Provence-Alpes-Côte d'Azur. (Dreal Paca)

ASSISTANT DU MAÎTRE D'OUVRAGE ET CONTRÔLE EXTÉRIEUR DES TRAVAUX :

CETE Méditerranée, division OA

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL :

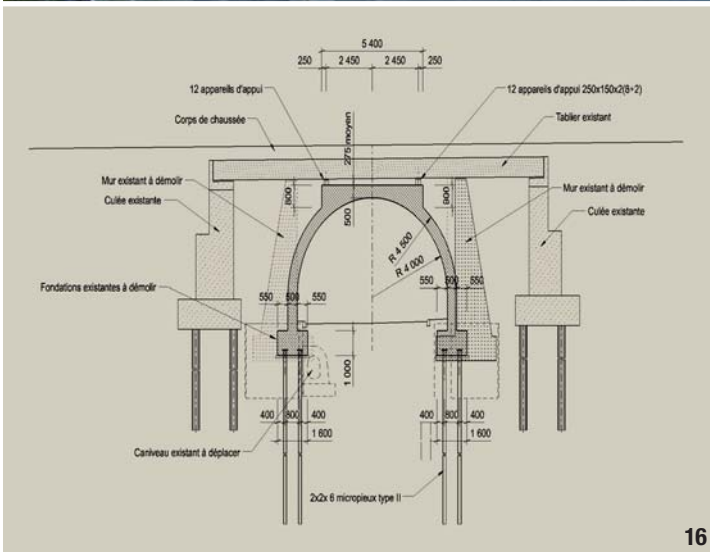
Egis (Egis route, direction de projet, maîtrise d'œuvre travaux ; Egis aménagement, infrastructures linéaires, environnement ; Egis JMI, ouvrages d'art ; Egis géotechnique et matériaux, géotechnique, terrassements, soutènements, défilé de Mirabeau ; Egis eau, quai du port de La Pointe, études hydrauliques ; Egis mobilité, équipements, conditions d'exploitation sous chantier)



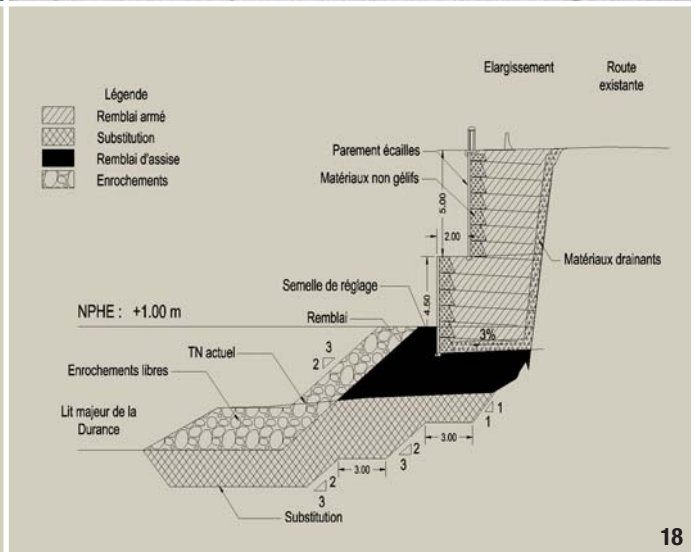
15



17



16



18

d'assise en matériaux 0/300 de carrière. Ce remblai est surmonté par le mur terre armée proprement dit, d'une hauteur de 4 à 11 m, généralement constitué de deux pans séparés par une terrasse intermédiaire, et ce afin de s'adapter à la géométrie du talus ou de l'ouvrage existant. Sur un linéaire d'une cinquantaine de mètres, un ren-

forcement du talus existant par deux à trois lignes de clous a été nécessaire. Les voûtes traversantes de l'ouvrage existant ont été renforcées, puis prolongées à travers le mur en sol renforcé, tandis que les voûtes borgnes ont été comblées (figure 18). Une des spécificités du dimensionnement de cet ouvrage a été la prise en

compte de l'existant et de la variabilité des profils. Le calage des paramètres de calculs s'est ainsi basé sur un calcul à rebours de la situation existante (avec un facteur de sécurité de 1 sans coefficient partiel, ce qui était sécuritaire). Les calculs de dimensionnement sont des calculs classiques à la rupture, en vérifiant la stabilité interne et la stabilité

générale de l'ensemble de l'ouvrage. En phase d'exécution, on a par ailleurs réalisé des profils de calculs tous les 25 m afin de s'adapter à la variabilité des profils et d'optimiser le dimensionnement. Suivant les profils, il s'est avéré que la situation dimensionnante était soit le passage des convois Iter, soit le séisme réglementaire. □

ABSTRACT

DEVELOPMENT WORK ON ROAD STRUCTURES ON THE ITER ROUTE

NADIA FABRE, DREAL PACA - EGIS JMI : OLIVIER BONIFAZI - GUILLAUME DANAN - JOCELYN BOUCHUT - ERIC WALINE

For construction of the Iter experimental reactor, components of exceptional size and weight had to be transported between the Etang de Berre centre and the CEA's facility at Cadarache, where they were to be assembled. For this purpose, a special route, based on the existing road network, had to be developed over about one hundred kilometres. This article describes the design engineering for developments to the existing road structures to make them compatible with transit of the Iter convoys. □

ORDENACIÓN DE LAS OBRAS DE FÁBRICA DEL ITINERARIO ITER

NADIA FABRE, DREAL PACA - EGIS JMI : OLIVIER BONIFAZI - GUILLAUME DANAN - JOCELYN BOUCHUT - ERIC WALINE

La construcción del reactor experimental Iter precisa el transporte de componentes de dimensiones y pesos excepcionales entre el estanque de Berre y las instalaciones del CEA en Cadarache, en donde se debe proceder a su ensamblaje. En este contexto, ha sido necesario ordenar, a partir de la red vial existente, un itinerario específico sobre unos cien kilómetros. En el presente artículo se describen los estudios de diseño de las ordenaciones relativas a las obras de fábrica existentes para realizar los trabajos de compatibilidad con el paso de los convoyes Iter. □

TRAMWAY DE REIMS : SYSTÈME DE TRANSPORT ET UN PROJET D'AMÉNAGEMENT URBAIN

AUTEUR : JEAN-JACQUES RÉMY, DIRECTEUR TECHNIQUE DU PROJET TRAMWAY DE REIMS, BOUYGUES TP

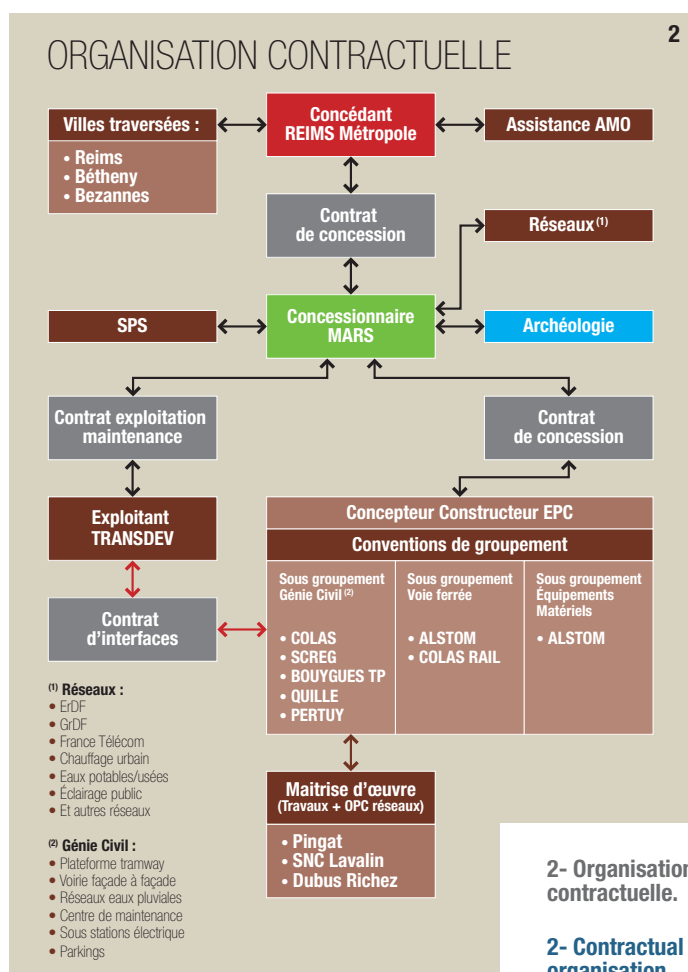
UN PROJET DE TRAMWAY REPRÉSENTE À LA FOIS UNE NOUVELLE OFFRE DE TRANSPORT ET UN PROJET D'INSERTION URBAINE ET D'AMÉNAGEMENT QUI TRANSFORME UNE VILLE. PAR DÉLIBÉRATION DE REIMS MÉTROPOLE EN DATE DU 12 JUILLET 2006, LA SOCIÉTÉ MARS A ÉTÉ DÉSIGNÉE CONCESSIONNAIRE DU PROJET DE TRAMWAY DE REIMS. ELLE SE VOIT AINSI CHARGÉE DE LA CONCEPTION, DU FINANCEMENT, DE LA CONSTRUCTION, DE L'EXPLOITATION ET DE LA MAINTENANCE DE LA PREMIÈRE LIGNE DE TRAMWAY, AINSI QUE DE L'EXPLOITATION DE L'ENSEMBLE DU RÉSEAU DE TRANSPORT URBAIN, BUS ET TRAMWAY PENDANT 30 ANS. LA SOCIÉTÉ MARS A CONFIE LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES COMPOSÉ D'ALSTOM TRANSPORT ET DE BOUYGUES À TRAVERS SES FILIALES COLAS ET BOUYGUES CONSTRUCTION, ET L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE À TRANSDEV.

ITINÉRAIRE DE LA LIGNE

Le tracé de la ligne du tramway de l'agglomération rémoise est constitué d'une infrastructure en fourche se traduisant par la mise en place de deux services commerciaux A et B (figure 5). L'ensemble de la ligne construite au sol passe sur des ouvrages d'art existants : les ponts de Laon, Vesle et Franchet-d'Esperey, et le passage souterrain dit du Quick, avenue du Général-Bonaparte. L'ensemble de la ligne est à deux voies, à l'exception de la portion comprise entre le centre de maintenance et la station Bezannes (service B), dont la plate-forme est réalisée pour accueillir deux voies mais sur laquelle une seule est installée dans le cadre du projet.

La portion de ligne correspondant au service A est longue de 9,4 km du terminus de Neufchâtel jusqu'au terminus Hôpital. La partie correspondant au service B partage les mêmes voies que le service A sur 5,1 km, puis est en voie double sur 0,56 km et en voie simple sur 1,15 km. Il y a 23 stations voyageurs, avec possibilité d'en ajouter deux autres dans la ZAC de Bezannes, entre le centre de maintenance et la gare TGV Champagne-Ardenne.

De plus, un embarcadère est envisageable au niveau du stade A. Delaune entre les stations Comédie et Courlancy.



Dans tout le centre-ville, de la station Boulingrin à la station Comédie, soit 1,9 km, l'alimentation électrique de la ligne de tramway est assurée par le sol (APS), sans ligne de contact aérienne (LAC). La circulation du tramway s'effectue en site réservé, à l'exception de la rue Docteur Schweitzer et du pont de Vesle. De la place Myron-Herrick à la place Stalingrad, la ligne emprunte une zone piétonne. Les stations de tramway constituent une marque de reconnaissance sur le tracé de la ligne. Le design de ces stations est donc identique.

PÔLES D'ÉCHANGES

L'ensemble du réseau de transport collectif de l'agglomération comporte plusieurs pôles d'échanges entre la ligne de tramway et les différentes lignes de bus.

Le pôle d'échanges de Neufchâtel est situé au terminus nord de la ligne du tramway, à un point de convergence de nombreuses voiries. Trois lignes offrent de bonnes conditions d'échanges avec le tramway, au vu de la proximité des arrêts de bus situés à hauteur de la station tramway Jean Macé, et de même à la station Belges. Le pôle d'échanges Gare Reims Centre est un des plus importants du réseau.

Il est desservi par les services A et B ▷



QUESTIONS
À CHRISTIAN MESSELYN,
PRÉSIDENT DE MARS

QUEL EST LE MODÈLE DE LA CONCESSION ?

En qualité de maître d'ouvrage, Mars a une obligation de résultat. Nous sommes responsables de l'exécution, à nos risques et périls, de nos engagements, sous le contrôle de Reims Métropole. La concession est globale et inclut, en plus de la ligne de tramway, tous les ouvrages et équipements visant à permettre une bonne insertion urbaine du tramway, ainsi que l'exploitation du réseau de bus depuis le 1^{er} janvier 2008. Nous portons toutes les obligations de maintenance, de renouvellement des biens affectés au service public : continuité, sécurité et qualité, ainsi que les méthodes de mesure sur les pénalités afférentes sont définies contractuellement.

QUELS SONT LES AVANTAGES POUR LA COLLECTIVITÉ DANS LE CHOIX DE LA CONCESSION ?

En confiant à Mars la conception, le financement, la construction et l'exploitation du tramway et du réseau de transports urbains pendant 30 ans, l'agglomération de Reims a transféré sur nous les risques éventuels de dérive des coûts et des délais. Nous portons seul la dette et nous nous sommes engagés sur un montant forfaitaire des investissements et des prestations qui se traduisent par une subvention forfaitaire et définie pour toute la durée du contrat.

QUEL EST LE PARTAGE DES RISQUES DANS LE CADRE DE LA CONCESSION ?

Le contrat que nous avons signé avec Reims Métropole comprend un partage des risques. Le risque archéologique, qui dans une ville comme Reims n'est pas négligeable, a été intégralement porté par Mars. Mars porte également le risque de la fréquentation du réseau de transports urbains pendant la période de construction, ce qui nous impose de maintenir une qualité de service public de haut niveau malgré les travaux. Les risques conjoncturels et politiques, comme par exemple la mise à disposition des terrains ou le niveau d'indemnisation des riverains professionnels pendant la phase travaux, sont portés par l'agglomération.

du tramway (il constitue le terminus du service B), offrant ainsi une fréquence très forte vers l'hyper centre-ville et le sud de l'agglomération. Quatre lignes de bus en passage et cinq lignes en terminus confortent ce pôle. Au-delà de sa fonction urbaine, il est également le lieu d'échanges avec d'autres transports collectifs représentés par le TER, les trains grandes lignes et le réseau des cars départementaux. La station Théâtre reste un pôle majeur de correspondance du réseau de Reims Métropole, desservie par huit lignes de bus et les services de tramway A et B. Quatre lignes permettent un échange de grande qualité avec les services de tramway A et B à la station Comédie. Trois lignes de bus ont un excellent contact sur la ligne du

tramway à la station terminus Hôpital (service A). Une ligne dessert notamment la gare TGV Champagne-Ardenne et offre un contact avec le tramway (service B) à la station Bezannes.

PARCS RELAIS

Trois parcs relais (P+R) sont prévus, au nord le P+r Neuchâtel, à l'entrée nord de la ville le P+r Laon, et au sud le P+r Hôpital. Ces parcs de stationnement ont pour vocation de drainer une partie des flux de déplacement, essentiellement ceux originaires de l'extérieur de l'agglomération, vers la ligne de tramway, participant ainsi au désengorgement de la circulation en centre-ville. La politique de stationnement représente en effet un des principaux leviers dans le choix

du mode de transport. C'est un enjeu prioritaire dans le plan de déplacements urbains (PDU) de l'agglomération rémoise. Un découpage préalable permet de sectoriser les flux de circulation les plus importants et d'affecter les parkings selon ce zonage. Le parti pris est de raisonner en bassins versants dont la convergence naturelle, via le réseau routier et autoroutier, incite les automobilistes à entrer dans le parc relais. Les secteurs Nord, Nord-Est et Ouest drainent l'ensemble des voies de circulation (A26, N31, N44, A26, D966, D74, D151 et A34) vers les parcs relais Neufchâtel et Laon. Les secteurs Sud-Est et Sud conduiront vers le parc relais Hôpital par la N44, l'A4 et la N51.

ARRÊTS DE BUS

L'accessibilité à tous, notamment aux personnes à mobilité réduite, se traduit par une amélioration des quais des arrêts de bus : hauteur de 19 cm pour les quais, longueur de 14 m pour une ligne desservie par des bus standards et de 18 m pour une ligne desservie par des articulés, configurés le plus possible en alignement de chaussée et complétés par des repères au sol permettant aux voyageurs non voyants ou malvoyants et en fauteuil roulant de repérer leur zone d'attente réservée. Les caractéristiques des abris voyageurs bus sont identiques à celles des abris tram dans l'emprise du projet. Les flux voyageurs déterminent la longueur des abribus, qui varie de 4 à 8 m. La borne information voyageurs (BIV) peut être positionnée sous l'abri ou à l'extérieur, en drapeau sur un mât. Le caisson publicitaire double face est fixé sur poteau.

VOIE FERRÉE

Il s'agit d'une voie classique équipée de rails à gorge de type 41GP R13 installés verticalement à l'écartement standard de 1,435 m, et dont les ancrages sont bloqués dans le béton. La voie est posée sans dévers sur voirie. La voie ferrée est conçue pour atténuer les vibrations générées par le passage du tramway. La voie standard (dite type 0) est équipée de semelles caoutchouc de 9 mm intercalées entre le rail et son assise. Ce type de voie est installé partout où les habitations sont situées à plus de 12 m de l'axe des voies. La voie antivibratile (dite type 1) est équipée de semelles antivibratiles sensiblement plus souples que les semelles caoutchouc. Elle est installée dans les zones où les habitations sont situées entre 7 et 12 m des voies, comme

c'est le cas dans l'avenue de Laon. La voie sur dalle flottante (dite type 2) isole totalement la voie de l'environnement par l'utilisation d'un tapis résilient sous et autour de la dalle de béton de voie (photo 6). Elle est installée dans les zones où les habitations sont les plus proches de la voie (moins de 7 m de l'axe des voies), comme c'est le cas dans les rues Thiers ou de Vesle. Les voies de franchissement des ponts sont collées sur l'ouvrage pour apporter une surcharge la plus faible possible et ne pas interférer avec les structures de l'ouvrage. Dans les courbes de la ligne les plus serrées (rayon de courbure inférieur à 80 m), les rails sont particulièrement sollicités et font donc l'objet d'un traitement spécifique anti-usure (par augmentation de la dureté de la surface d'usure du rail) et anticrièvement (par amélioration de l'état de surface et du contact rail-roue). Les rails servant au retour du courant de traction, le circuit est isolé électriquement de l'environnement par des mousses adaptées et par des capots au niveau des systèmes d'attache. Pour diminuer la résistance du circuit constitué par les rails, ceux-ci sont reliés entre eux tous les 150 m, et les voies entre elles tous les 300 m par un câble cuivre de 120 mm². Dans les zones de manœuvres fréquentes, les aiguillages sont télécommandés par les conducteurs des véhicules. Pour assurer un fonctionnement optimal dans les conditions hivernales, ces aiguillages sont réchauffés par des câbles électriques chauffants. Les voies de remisage des tramways au centre de maintenance sont posées sur ballast et utilisent du rail Vignole de type U50.

ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

La ligne du tramway est équipée de sept sous-stations électriques de 900 kW chacune, réparties sur l'ensemble du tracé : deux dans les stations terminales Neufchâtel et Hôpital, quatre en ligne (une sur les actuels garages municipaux de l'avenue de Laon, une cours J.-B.-Langlet, une avenue du Général-de-Gaulle, une à proximité de la station Campus) et une au centre de maintenance. Deux de ces sous-stations sont intégrées à des locaux techniques (stations terminales Neufchâtel et Hôpital), trois sont indépendantes et en superstructure, deux sont enterrées (actuels garages municipaux de l'avenue de Laon et cours Langlet). Les sous-stations assurent la transformation de l'énergie alternative en énergie continue ainsi que la distribution en toute sécurité.



QUESTIONS
À ADELINE HAZAN,
MAIRE DE REIMS
ET PRÉSIDENTE
DE REIMS MÉTROPOLE

QUE VA SELON VOUS APPORTER LE TRAMWAY À L'AGGLOMÉRATION RÉMOISE ?

La création de la ligne de tramway et la réorganisation du réseau de bus qui l'accompagne vont améliorer très sensiblement la qualité des dessertes en transports collectifs. Notre agglomération bénéficiera d'une offre de transport moderne et attractive, favorisant l'intermodalité, modérant la place de la voiture dans la ville. Avec le tramway, l'agglomération se renouvelle, les espaces urbains s'embellissent, le dynamisme de notre territoire s'accroît, le lien social se développe. Autour de son projet de tramway, Reims Métropole prend résolument la voie du développement durable.

QUELS LIENS AVEC LE PROGRAMME DE RENOUVELLEMENT URBAIN ?

Avec plus de 40 % de logements sociaux sur son territoire, la Ville de Reims détient un record national. L'ambitieux programme de renouvellement urbain – il s'agit de 470 millions d'euros consacrés à la rénovation urbaine – doit permettre de garantir de meilleures conditions de vie. Trois des quatre quartiers concernés par le renouvellement urbain sont directement reliés par ce projet structurant de transport. Il va participer pleinement au décloisonnement de ces quartiers, assurer une plus grande mobilité de ses habitants et mieux les relier aux services et aux pôles d'emplois.

COMMENT S'INSCRIT LE TRAMWAY DANS VOS RÉFLEXIONS À PLUS LONG TERME ?

La démarche ambitieuse entreprise sous l'égide de Reims 2020 nous a permis de bénéficier des constats et propositions de trois équipes pluridisciplinaires menées par trois grands prix de l'urbanisme, Bruno Fortier, Christian Devillers et Philippe Panerai. Il s'agit de choisir dans quel type de métropole nous voulons collectivement vivre dans les dix années à venir. Certes, la qualité des logements, des espaces publics, du lien social sont quelques-uns des critères qui fondent le « mieux vivre » ensemble. Mais l'accessibilité à la ville, les mobilités durables sont au cœur des problématiques. Chacun est aujourd'hui persuadé que l'objectif doit être de diminuer l'impact de nos déplacements sur l'environnement, sans réduire notre droit à la mobilité. Il est trop tôt pour déterminer quels seront les axes de développement futurs de nos transports collectifs. Mais les experts s'accordent à penser que l'avenir de notre agglomération passera par le développement de l'intermodalité, repensé à l'échelle d'un territoire qui ira au-delà des frontières de notre agglomération, et ce en vue de constituer une métropole multipolaire.



LIGNE AÉRIENNE DE CONTACT (LAC)

Hors des accrochages en façade, privilégiés quand c'est possible, les supports sont des poteaux cylindro-coniques peints de dimension homogène (340/200 mm), ainsi que des consoles horizontales. Les poteaux d'arrêt de tir sont de section en H capotée pour dissimuler les appareils tendeurs. Les câbles d'alimentation aux points

d'injection sont dissimulés dans les poteaux et les consoles.

ALIMENTATION PAR LE SOL (APS)

Le système d'alimentation par le sol, installé entre les stations Boulingrin et Comédie, permet de supprimer la LAC et de la remplacer par un système d'alimentation continu au niveau du sol, au moyen d'un rail entièrement intégré au centre de chacune des voies ferrées

5- Tracé de la ligne du tramway.

5- Tramway line layout.

(photo 7). Deux frotteurs situés sous le bogie central permettent l'alimentation du véhicule en électricité.

Ce système est compatible avec tous les types de revêtement de plate-forme et peut s'intégrer dans tout type de zone urbaine. Ce système d'APS permet au matériel roulant de réaliser les mêmes performances (accélération, freinage, vitesse commerciale) qu'en solution traditionnelle.



6



7

Il présente en outre les mêmes caractéristiques d'exploitation qu'une LAC, comme le démarrage des véhicules en tout point de la ligne, la disponibilité totale et sans limitation de l'énergie nécessaire au fonctionnement des rames en toute situation, la possibilité de retournement des véhicules et la compatibilité du système avec toute la ligne de tramway, y compris en des points particuliers comme des croisements et aiguillages.

Pour limiter la zone mise sous tension et assurer ainsi la sécurité des personnes sur la plate-forme, le rail d'alimentation est segmenté comme indiqué dans la figure 8. Hors présence du véhicule, les segments sont mis hors tension. Dans son état par défaut, le rail d'alimentation est donc inerte et ne présente aucun risque électrique pour le public ou les autres véhicules.

Seuls les segments situés sous l'emprise au sol du véhicule peuvent être mis sous tension pour assurer la traction. Dans ce cas, les parties conductrices au sol sont enfermées dans un volume protégé par le véhicule, et sont donc inaccessibles. Les parties conductrices du rail d'alimentation sont séparées par des zones isolantes. Chaque segment, séparé de ses voisins par une zone électriquement isolée, est utilisé alternativement pour l'amenée de courant en fonction de la position instantanée du véhicule. L'ensemble de ce dispositif encastré dans le sol, affleurant la plate-forme, ne présente aucune émergence. Il permet de ramener l'encombrement d'un système tramway à son gabarit standard et de libérer la voie publique de l'ensemble des obstacles aériens. Le principe d'alimentation en énergie d'un véhicule est illustré par la figure 8.

COMMUNICATIONS PHONIQUES

La radio permet d'assurer l'acheminement des communications phoniques ainsi que les transmissions de données entre les équipements des différents utilisateurs (poste de contrôle et de commande ou PCC, tramways, bus, véhicules de service, BIV aux stations tramway et à certains arrêts de bus). Cette radio peut assurer des échanges vocaux mais aussi des échanges de données permettant d'afficher de l'information à bord de tous les véhicules.

ÉQUIPEMENTS EN STATION

Chaque station tramway est équipée de deux distributeurs de titres acceptant les cartes de paiement, d'un afficheur dynamique donnant des informations sur les temps d'attente (pour chacun des deux services dans la portion commune), de caméras de surveillance, de haut-parleurs et d'un interphone avec le PCC utilisable en cas d'incident.

De la même façon, les principaux arrêts de bus sont dotés d'un afficheur donnant le temps d'attente des prochains passages de bus, placé sous l'abri bus ou sur un poteau.

RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATION

L'ensemble des installations techniques de la ligne est relié par un réseau de télécommunication multiservice permettant d'acheminer la téléphonie, la vidéo, l'interphonie, les annonces sonores, la billettique, le système d'information voyageurs du tramway et la surveillance des installations techniques jusqu'au PCC. Au niveau du centre de maintenance, des connexions particulières au réseau de fibres optiques de la ville de Reims (Jupiter) permettent la réception des informations d'explo-

tation sur un poste déporté géré par Reims Métropole et la mise en place d'un module déporté du PC Rémi.

ÉQUIPEMENTS BILLETTIQUES

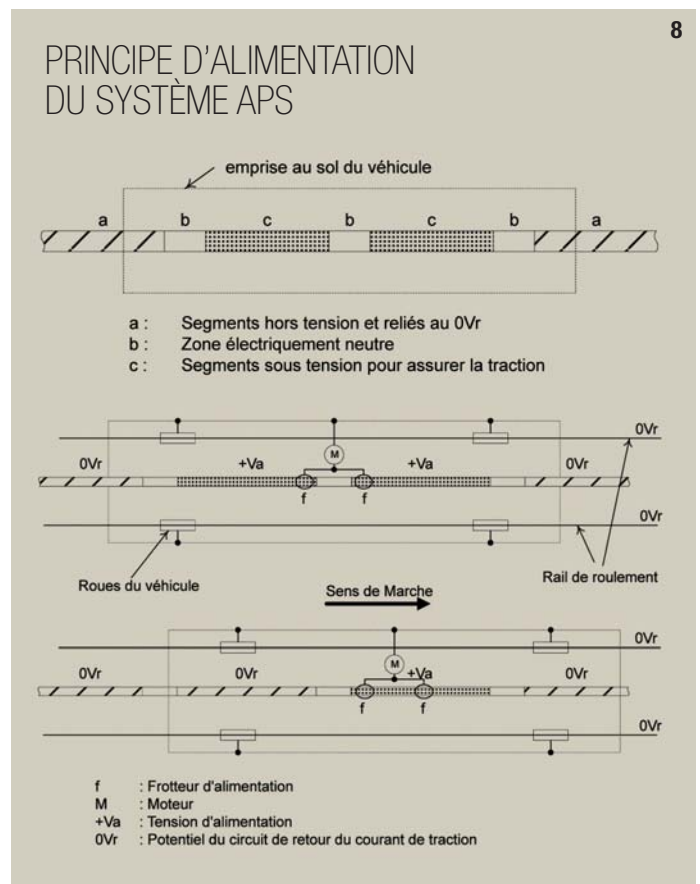
La technologie offerte par le système billettique est de type sans contact.

Elle est commune à l'ensemble du réseau de transport de l'agglomération, et les titres distribués permettent également l'accès aux parcs relais. Outre les distributeurs installés en station tramway,

plusieurs points de vente répartis sur l'ensemble de l'agglomération permettent de se procurer des titres de transport. Les rames de tramway sont équipées de dix valideurs, et deux valideurs sont présents dans chaque bus.

SIGNALISATION FERROVIAIRE

Le rôle de la signalisation ferroviaire, et plus spécifiquement du système d'enclenchement de la signalisation du tramway, est de permettre la gestion en



8



9



10

6- Réalisation de la dalle sous tapis antivibratile.

7- Installation du rail APS.

8- Principe d'alimentation du système APS.

9- Centre de maintenance vu côté maintenance.

10- Centre de maintenance vu côté exploitation.

6- Execution of the slab under an anti-vibration mat.

7- Installation of ground-level power supply (APS) rail.

8- Schematic of ground-level power supply (APS) system.

9- Maintenance centre viewed from the maintenance side.

10- Maintenance centre viewed from the operating side.

sécurité de la commande des appareils de voie et des signaux afin d'assurer les manœuvres des tramways sur les zones d'aiguilles, qu'elles soient situées en ligne ou au centre de maintenance. Les installations de signalisation ferroviaire sur ces zones de manœuvre comprennent :

- Un dispositif à bord des tramways permettant la commande des demandes d'itinéraires ;
- Une logique de traitement (commande et destruction d'itinéraire) ;
- Des signaux d'autorisation des itinéraires ;
- Des dispositifs de détection des tramways par compteurs d'essieux en ligne ;
- Des dispositifs de commande et de contrôle des appareils de voie ;
- Un dispositif de commande local d'itinéraire.

Des locaux de signalisation pour ces équipements sont prévus à proximité des stations Neufchâtel, Gare et Hôpital, et au centre de maintenance.

En dehors des zones de manœuvre, aucune signalisation ne fournit d'information au conducteur sur l'état d'occupation de la voie. La sécurité des circulations dépend uniquement de la vigilance des conducteurs de tramway et de l'application des consignes d'exploitation. Le conducteur adapte la vitesse du tramway en tenant compte de la partie de voie libre en vue, de manière à pouvoir s'arrêter devant tout obstacle et à maintenir en toute circonstance une distance minimale avec le tramway qui le précède.

CAMÉRAS DE SURVEILLANCE

Le système vidéo assure la capture des différentes images des points importants pour l'exploitation de la ligne de tramway, des parcs relais et du centre de maintenance. L'orientation des caméras et la définition de leur champ de vision se limite à l'espace de transport et respecte la législation en vigueur sur la surveillance vidéo des zones publiques.

En station, l'utilisation de l'interphone déclenche la visualisation de l'image associée au PCC.

SIGNALISATION LUMINEUSE DU TRAFIC

Un système de détection est installé aux carrefours à feux pour donner la priorité absolue au passage des tramways et améliorer ainsi leur vitesse commerciale. La signalisation routière existante à Reims est gérée par le système Remi, qui est adapté pour prendre en compte le tramway. Pour gérer le passage aux carrefours, des capteurs de présence détectent suffisamment tôt l'arrivée d'un tramway. Le calculateur central (PC Remi) modifie alors les séquences

d'allumage des feux afin de donner la priorité absolue au tramway pour éviter de le ralentir. Contrairement à d'autres réseaux français, les traversées des cinq carrefours giratoires par le tramway sont protégées par des feux tricolores et non par des feux clignotants rouges (R24), qui risqueraient d'être mal interprétés par les automobilistes.

CENTRE DE MAINTENANCE

Il est situé au sud de la ligne, dans la ZAC de Bezannes.

Le site est dimensionné en fonction de son exploitation à long terme : il répond aux besoins de 40 rames de 44 m (Citadis 402).

L'ensemble des équipements électromécaniques du dépôt et de l'atelier est prévu pour recevoir à terme cette flotte. Un parc voitures de quelque 100 places et un garage à vélos et motos sont situés à l'est de l'atelier.

Le centre de maintenance a été conçu pour simplifier les différentes zones de manœuvre, réduire les risques de perturbation en cas de dysfonctionnement des équipements (aiguillages, moteurs, signalisation ferroviaire) et dissocier les zones principales d'entrée et de sortie. Une sortie permet de rejoindre directement la ligne depuis le remisage.

Celle-ci permet également d'effectuer des retraits de rames en ligne directement vers l'atelier. La zone de remisage se compose de trois voies de stockage. Pour réduire l'impact d'une rame en panne sur une voie de remisage, on a ajouté une quatrième voie, traversante, qui servira également de voie de test en journée. L'atelier de maintenance, la station service et la station de lavage des tramways sont regroupés en un unique bâtiment (photo 9).

CARACTÉRISTIQUES DES QUAIS

LONGUEUR :

40 m, compatible avec le Citadis 402, version allongée du Citadis 302, véhicule retenu à la mise en service

LARGEUR :

3,10 m (cas général), 2,80 m pour les insertions difficiles et de 4 à 4,50 m pour les stations à quais centraux

ÉLÉVATION AU-DESSUS DU PLAN DE ROULEMENT DES RAILS :

29,5 cm

PENTE MAXIMUM DES RAMPES :

Inférieure à 5 %, soit des rampes de 4 à 9 m selon les nivellements rencontrés



11



12

L'ensemble « station service + station de lavage » fait 92 m de long pour accueillir deux rames de 44 m.

D'une longueur de 60 m, la station service permet d'accueillir une rame de 44 m afin de réaliser, entre autres, les activités de mise à niveau du sable, de la graisse des graisseurs de boudin et du lave-glace. La station de lavage traversante, dont la capacité répond à la future charge maximale, permet d'effectuer le nettoyage extérieur des rames au défilé. Les surfaces extérieures sont nettoyées grâce à des brosses rotatives. Le système est également équipé de brosses mobiles afin d'effectuer le nettoyage-brossage des toitures des rames en toute sécurité. Le bâtiment est prévu pour stocker les consommables nécessaires à cette activité. Un silo de sable, ravitaillé par camion, est également intégré à proximité. En plus de la voie dédiée à la station service-station de lavage, la partie atelier de maintenance de l'atelier dépôt est équipé de :

- Deux voies sur pilotis avec passerelles sécurisées (autorisation d'accès à la passerelle si la ligne aérienne de contact est hors-tension) permettant d'accéder aux équipements de toiture. Elles sont chacune équipées de ponts roulants indépendants 1 t ;
- Une voie de plain-pied équipée de colonnes de levage ;
- Une voie de plain-pied libre ;
- Une voie équipée d'un tour en fosse ;
- Ateliers spécialisés équipés des outillages nécessaires pour effectuer des opérations sur des organes démontés (atelier bogies, réparation baies et portes, mécanique et électrique-électronique) ;
- Un magasin muni du stock de pièces

nécessaires pour assurer la maintenance du matériel roulant.

LOCAUX D'EXPLOITATION

Le centre de maintenance renferme à la fois les aires de stockage des rames (dépôt), les ateliers dédiés à leur entretien (atelier), et les locaux d'exploitation de l'ensemble du réseau tramway et bus (photo 10). Dans ces locaux sont regroupées les différentes activités relatives à l'exploitation et à la maintenance de la ligne de tramway :

- Bureaux de la direction et de l'administration de l'exploitation ;
- Locaux opérationnels de l'exploitation de la ligne : local prise de service, local PCC. C'est depuis le PCC que sont pilotées toutes les activités du réseau de bus et de la ligne de tramway. Le PCC gère l'exploitation au quotidien ;
- Locaux de la maintenance des tramways et des infrastructures : vestiaires, bureaux de la direction et de l'administration. La maintenance vise à garantir un matériel roulant et une infrastructure fiable et disponible.

PARTI ARCHITECTURAL

Le projet du tramway de l'agglomération rémoise est non seulement l'insertion du tramway dans son milieu récepteur, mais aussi un aménagement de façade à façade sur l'ensemble du tracé du tramway pour restituer les fonctionnalités. Le site propre du tramway reçoit un traitement particulier conçu pour permettre à l'utilisateur de le distinguer du reste de l'espace public.

Cet aménagement comprend, entre autres, les éléments suivants :

- Une délimitation nette et sécuritaire des zones d'usages différents (trottoir, chaussée, zone mixte tramway-voitures,

zone mixte piétons-vélos, passage piétons aux carrefours) ;

- Une utilisation de matériaux nobles et une gamme de couleurs propres à la région ;
- Une homogénéisation et une optimisation des matériaux sur l'ensemble du tracé ;
- Un traitement particulier du centre-ville de Reims ;
- Un traitement recherché des zones hors centre-ville ;
- Un traitement spécifique pour les secteurs particuliers comme la place des Belges, la place Saint-Thomas, la place de la République, la place de la Gare, la place Jules-Lobet, la place Myron-Herrick, la place Stalingrad et la place Colin ;
- Un mobilier urbain de qualité et homogène sur l'ensemble de la ligne ;
- Des stations de tramway fonctionnelles et esthétiques ;
- Une attention particulière aux espaces verts et plantations.

DIFFÉRENTS TYPES DE REVÊTEMENTS

Les revêtements de la plate-forme circulée par le tramway sont constitués :

- Majoritairement de gazon (photo 11), soit sur environ 60 % du tracé (rue Laberte, boulevard des Belges, Hautes-Promenades, rue Thiers, cours Langlet et partie sud de la ligne à partir de la chaussée Bocquaine) ;
- De béton désactivé lorsque la plate-forme est accessible (avenue de Laon essentiellement) ou en zone piétonne circulée (rue de Vesle), ou de pavés (place Myron-Herrick) ;
- De béton couleur noire en carrefour, dans la continuité du revêtement de la voirie ;

11- Mise en oeuvre de la terre végétale.

12- Trémie routière.

13 & 14- Citadis 302 : véhicule retenu pour la ligne de tramway.

11- Placing top soil.

12- Road underpass.

13 & 14- Citadis 302: The chosen vehicle for the tramway.

→ D'enrobés lorsque la plate-forme est mixte, c'est-à-dire circulée à la fois par le tramway et les voitures (rue Schweitzer essentiellement).

Les revêtements de la voirie sont constitués :

- Majoritaire d'enrobés. Il est parfois percolé (renforcé avec des résines) dans les zones très sollicitées (arrêts de bus) ;
 - De béton dans les zones réservées à la circulation des bus en centre-ville (pôle bus à proximité de la gare) ;
 - De pavés granit sur le cours Langlet et sur le parvis de la gare.
- Les revêtements des espaces réservés aux modes doux sont constitués majoritairement d'enrobé, de dalles béton sur l'avenue de Laon, de béton désactivé dans les quartiers Orgeval et Campus, et de dalle granit en centre-ville (parvis de la gare, autour du square Colbert, sur la place Myron-Herrick, le cours Langlet et la rue de Vesle).



13

CARACTÉRISTIQUES DU CITADIS 302

| Puissance, accélérations et décélérations | |
|---|-----------------------|
| Puissance des moteurs | 120 kW |
| Accélération moyenne de 0 à 40 km/h | 1,10 m/s ² |
| Accélération moyenne de 0 à 70 km/h | 0,70 m/s ² |
| Accélération résiduelle à 70 km/h | 0,27 m/s ² |
| Freinage de service ⁽¹⁾ | 1,5 m/s ² |
| Freinage d'urgence ⁽¹⁾ | 3 m/s ² |
| Freinage de secours ⁽¹⁾ | 1,7 m/s ² |

⁽¹⁾ Dans les conditions suivantes : vitesse initiale de 70 km/h, rail mi-usé, en alignement droit, tous freins en service et à charge maximale (6 personnes par m²).

| Performance / rampe | Rampe 3 % | Rampe 6 % | Rampe 8 % |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Accélération maximale | 0,91 m/s ² | 0,63 m/s ² | 0,44 m/s ² |
| Vitesse maximale | 65 km/h | 50 km/h | 45 km/h |

| Capacité du Citadis 302 de largeur 2400 | Charge normale (4 personnes/m ²) | | Charge maximale (6 personnes/m ²) |
|---|--|-------------------|---|
| | État des sièges à assise abattable | | |
| | Assises relevées | Assises abaissées | Assises relevées |
| Voyageurs assis | 48 | 56 | 48 |
| Voyageurs debouts | 156 | 148 | 235 |
| Total voyageurs/véhicule | 204 | 204 | 283 |
| Taux de confort en CN | 23,5 % | 27,5 % | |

Les revêtements des quais de station et des pôles d'échanges sont constitués de grandes dalles béton sur la totalité de la ligne.

STATIONS VOYAGEURS

Les quais sont accessibles par des cheminements conformes aux normes concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite en vigueur, réclamant des rampes à leurs extrémités : deux en général, une seule si la configuration des lieux ne le permet pas. Outre celles-ci, une contremarche est aménagée à l'arrière afin de faciliter le passage du quai au trottoir lorsque la configuration des lieux ne l'interdit pas. Cette contremarche est aussi utilisée comme bordure chasse-roue lorsqu'une voirie longe la station. L'ensemble des éléments du quai et des rampes est calepiné sur la base du mètre.

Le quai est structuré autour de deux bordures : le nez de quai et la bordure arrière de quai. Le nez de quai est une large bordure massive en pierre granit contrasté de 50 cm de large. La bordure arrière est une bordure en béton préfabriquée imitation pierre de 25 cm de large. Afin de faciliter la mise en œuvre et surtout la maintenance des équipements de la station, une bande technique longitudinale est installée en limite de bordure arrière. La bande technique de 55 cm est recouverte de dalles béton de petit format qui se fondent avec la bordure arrière et les dalles du quai. Une bande podotactile de 42 cm incluse dans une dalle est située le long de la bordure nez de quai. Cette bordure est en béton préfabriqué. Toutes les dalles sont en béton préfabriqué respectant les normes de glissance et dérapage P98-335.

ÉCLAIRAGE PUBLIC ET MOBILIER URBAIN

L'ensemble des équipements d'éclairage public est de classe 2. Néanmoins, un câble de terre est mis en place le

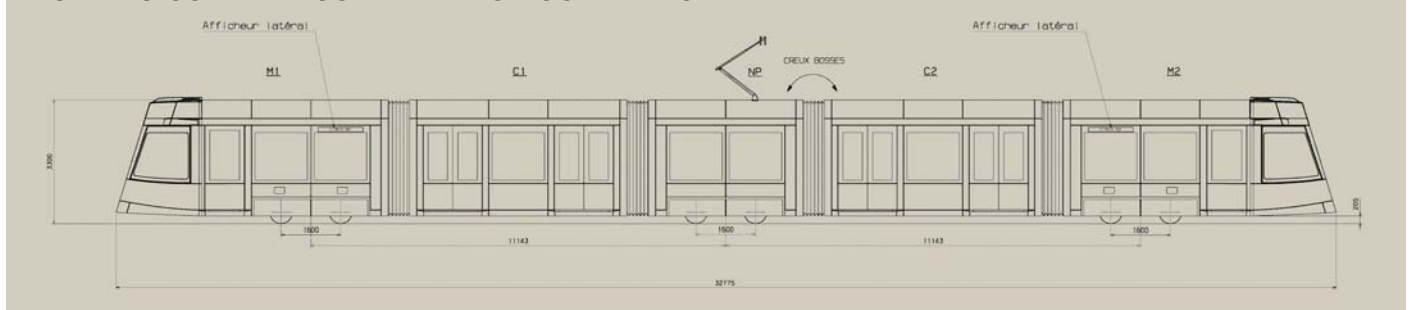
long de l'éclairage public et raccordé sur les mâts et les armoires par mesure de sécurité, pour pouvoir à l'avenir remplacer une lanterne de classe 2 par une classe 1. La consommation électrique du nouveau réseau d'éclairage public sera moins importante qu'elle l'est actuellement, grâce à l'emploi de lampes de type Cosmowhite ou équivalent et de ballast électroniques. L'implantation et les modes d'accrochage des appareils lumineux sont des mâts et candélabres ou mâts LAC, des crosses et lanternes, des luminaires ou lanternes posés en façade. L'accrochage des lanternes sur les poteaux LAC est privilégié toutes les fois où c'est possible. La ville de Reims possède un mobilier existant récent et un plus ancien. Ce mobilier est pris en compte dans les choix du concessionnaire. Afin d'éviter de renouveler entièrement le mobilier existant, une sélection est faite sur le mobilier de qualité. Pour permettre une meilleure adaptation avec le nouveau mobilier de ligne, une homogénéisation est réalisée par le choix d'une couleur et d'un traitement similaire, ou proche si la similarité n'est pas possible. Le mobilier urbain est constitué de bancs, poubelles, potelets fixes, potelets amovibles, appuis vélo, barrières et barrières lisses basses.

OUVRAGES D'ART EXISTANTS

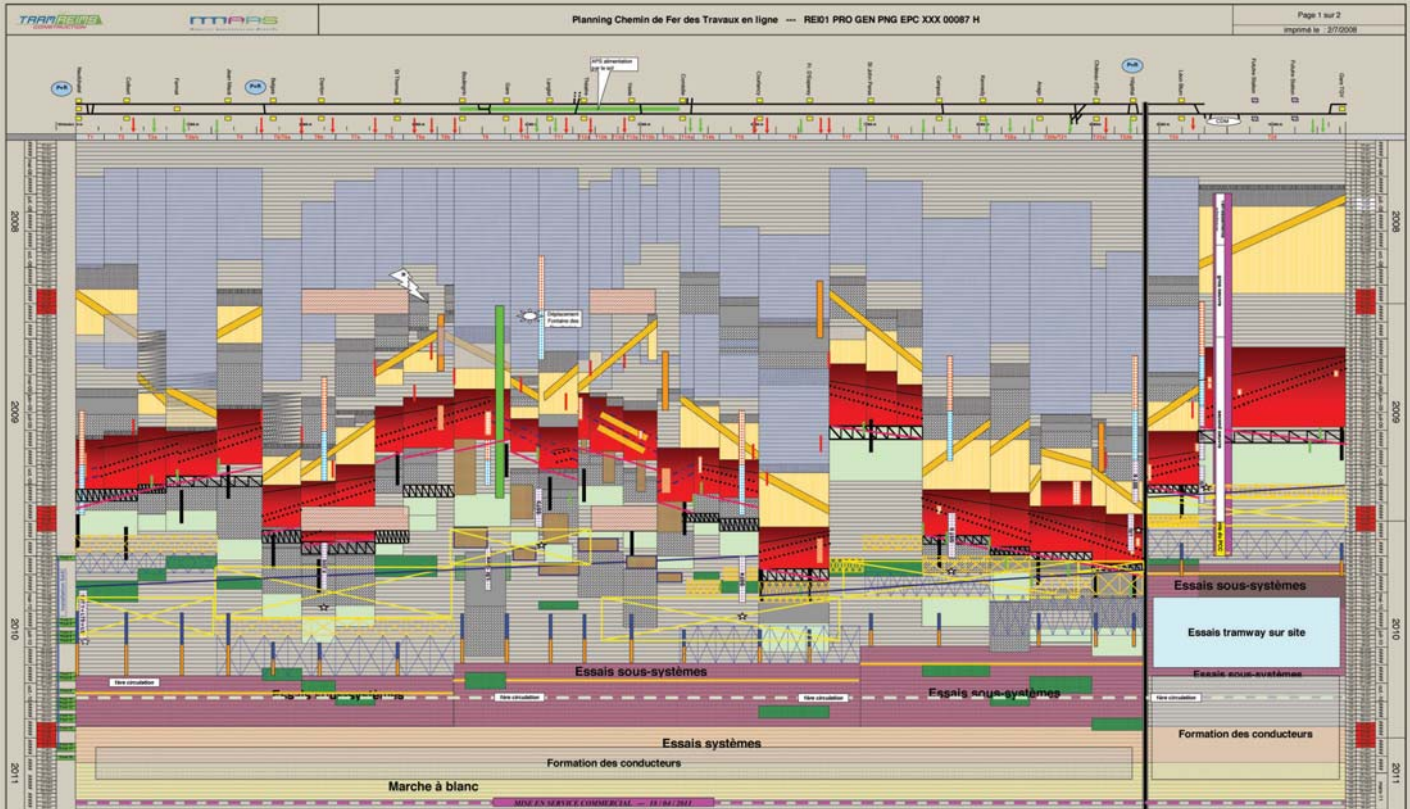
Les ouvrages existants franchis par le tramway (ponts de Laon, de Vesle et de Franchet-d'Esperey) sont aptes à recevoir les nouvelles charges apportées par le projet sans renforcement structurel. Ils seront néanmoins l'objet des travaux suivants, nécessités par le nouvel aménagement de surface : décapage de la structure de chaussée existante, remise en état de la surface du tablier, mise en œuvre d'une étanchéité, remplacement des joints de chaussée. Le boulevard Joffre est enterré devant la gare de Reims pour dégager l'esplanade devant le square Colbert. Le passage souterrain créé

14

CITADIS 302 : VÉHICULE RETENU POUR LA LIGNE DE TRAMWAY



PLANNING DES TRAVAUX



sur 150 m de longueur (hors rampes) autorise deux voies de circulation dans chaque sens, pour un gabarit de 4,80 m de hauteur. La trémie routière est dotée d'une bache de stockage des eaux de ruissellement et d'une station de relevage des eaux (photo 12). Au niveau du pont de Vesle, un escalier et un ascenseur sont construits pour assurer un accès direct aux bords du canal depuis le niveau du pont. Enfin, pour permettre l'élargissement de la voirie nécessitée par l'insertion de la plate-forme du tramway, le passage dit du Quick est allongé, et la rampe et l'escalier d'accès sont entièrement repris.

PISTES CYCLABLES

Conformément à la législation, dans la mesure du possible, des pistes cyclables ou zones mixtes piétons-vélos ont été intégrées dans les limites d'intervention du projet. Sur les 11 km de la ligne de tramway, 7,7 km de pistes cyclables en site propre ont été créés, complétés par 1,7 km de continuités cyclables en zone 30.

Plus de 85 % du linéaire du projet tramway est donc accompagné d'aménagements en faveur des deux roues.

De plus, si une piste ou une zone mixte se trouve à proximité d'un carrefour inclus dans la zone d'intervention du projet, des aménagements sont prévus (sas et traversée).

De façon générale, les débuts et fins de pistes cyclables sont signalés par des panneaux, et les débouchés de pistes non protégées par feux seront réglementés par des panneaux stop et le marquage approprié.

Dans chaque carrefour à feux, un sas vélo de 2 m de long est implanté devant chaque feu, sauf sur les boulevards Roederer et Joffre. Lorsqu'une piste passe dans un carrefour giratoire, une traversée pour les vélos est accolée au passage piétonnier sur chaque branche du carrefour giratoire.

MATÉRIEL ROULANT

Le véhicule retenu pour la ligne de tramway est le Citadis 302 (photo 13 et figure 14). Pour maximiser l'accessibilité, il est à plancher bas intégral.

De type bidirectionnel, il permet une exploitation optimale des rames.

Il comporte par ailleurs les modules suivants : deux motrices avec cabine (M1 et M2), une nacelle porteuse (NP),

et deux caisses suspendues (C1 et C2). Il pourrait être allongé en cas de besoin par l'adjonction de deux modules de caisse supplémentaires. Le véhicule a une longueur de 32,80 m pour des largeurs extérieure et intérieure respectives de 2,40 m et 2,24 m. Sa masse (en ordre de marche incluant l'APS et le capotage de toiture) est de 40,3 t +/- 3 %.

La pente maximale recensée sur le tracé est de 7 %. Ce véhicule peut toutefois gravir des pentes jusqu'à 8 % avec une accélération maximale de l'ordre de 0,4 m/s². Afin d'avoir un comportement de véhicule en traction et en freinage identique, quel que soit le nombre de passagers dans le véhicule, les performances cinématiques sont asservies à la charge passagers. L'ensemble des portes est équipé d'un seuil fixe débordant muni d'une partie ajustable dite fusible.

La position de la partie fixe est définie pour éviter tout contact au passage des quais en considérant la superposition des hypothèses défavorables. La partie mobile en matériau synthétique a la capacité de s'effacer en cas de contact avec le quai.

Avec un tel dispositif, il est possible de limiter la lacune horizontale nominale au droit des portes doubles à une valeur de l'ordre de 35 mm et au droit des portes simples à environ 60 mm, ce qui contribue à favoriser l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite.

Chaque véhicule est équipé d'un groupe de traitement d'air monobloc propre à chaque cabine de conduite, installé en toiture, ainsi que de deux groupes de traitement d'air salle voyageurs montés en toiture des caisses suspendues. L'esthétique du véhicule repose également sur un concept de palette de couleurs élaboré par le designer Ruedi Baur. Chaque véhicule est revêtu et identifié par une des huit couleurs de la gamme. Les Rémois se sont approprié le tramway en choisissant la forme de la flûte de Champagne pour le nez du véhicule.

PLANNING DES TRAVAUX

Le planning (figures 15 et 16) tient compte des contraintes suivantes :

→ Les activités d'installation sont suspendues pendant les fêtes de Noël sur l'avenue commerçante de Laon et sur la rue de Vesle ;

LEGENDES - PLANNING DES TRAVAUX

| | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--|---|------------------------------------|
|  | Travaux du côté gauche |  | Pose des Poteaux et ancrages |  | CDM |
|  | Travaux du côté droit |  | Armement |  | Trémie |
|  | Installations de chantier / Balisage |  | Tirage et réglage de la LAC |  | Revêtement PF |
|  | Terrassement |  | Tirage feeder |  | Espaces verts |
|  | Déviations de réseaux |  | Pose des Equipements APS |  | Connexion EDF |
|  | Trottoirs, espace piétonniers, ... |  | Câblage des Equipements APS |  | Mise sous tension énergie traction |
|  | Chaussées |  | Localisation des carrefours anticipés |  | Essais sous-systèmes |
|  | Multitubulaire |  | Traitement des carrefours par front dédié (hors SLT) |  | Formation des conducteurs |
|  | Plateforme tramway (GC) |  | Localisation des carrefours SLT |  | Essais système |
|  | Pose de voie ferrée standard |  | Traitement des carrefours par front dédié SLT |  | Marche à blanc |
|  | Pose de voie ferrée Apitrack |  | Sous-stations - Gros Œuvre |  | Période chômage |
|  | Equipement de la voie ferrée |  | Sous-stations - Second Œuvre |  | 1ère circulation |
|  | Pose de voie ferrée sur ovoïde |  | Sous-stations/LSI - Equipement |  | Essais tramway sur site |
|  | Pose des appareils de voie ferrée |  | Installations des quais des stations |  | Equipements TIS |
|  | Pose de la voie ferrée sur ouvrage |  | Equipement et mise en place des abris des stations et équipements associés |  | Mise en service commercial |
|  | Travaux sur ouvrage d'art |  | Démolitions | | |
|  | Tirage de câbles BT |  | Déplacement monument historique | | |

→ Maintien de la circulation sur les axes en construction, sauf dans les rues Schweitzer (en partie), Thiers et Vesle, ainsi que sur la chaussée Bocquaine ;

→ Prise en compte des déviations de circulation générales dans la ville et des intersections de toutes les rues avec la plate-forme tramway ;

→ Nécessité de ne jamais réaliser les travaux anticipés de carrefours sur deux carrefours consécutifs en même temps ;

→ Contraintes de la circulation des véhicules et du réseau de bus.

Pour réaliser les travaux, les moyens mis en œuvre sont :

→ Cinq fronts simultanés de déviation de réseaux ;

→ Cinq fronts de réalisation des travaux en ligne ;

→ Des fronts particuliers pour la réalisation des travaux ponctuels ;

→ Réalisation, par une équipe dédiée, de la plate-forme complète aux carrefours d'axes majeurs de circulation routière, en amont des travaux de pose de voie, afin de minimiser les perturbations de circulation et les durées d'intervention ;

→ Front de pose rapide de voie ferrée utilisant la technique Appitrack (photos 1 et 17) et quatre équipes de pose manuelle spécialisées (appareils de voie, pose manuelle classique et pose dans les carrefours).

DÉVIATIONS DE CIRCULATION

La ligne 1 du tramway passe par des axes structurants du réseau de voirie

15 & 16- Planning des travaux.

15 & 16- Works Planning.

**PLUS DE 85 %
DU LINÉAIRE DU
PROJET TRAMWAY
SONT ACCOMPAGNÉS
D'AMÉNAGEMENTS
DESTINÉS AUX
DEUX ROUES**

de l'agglomération rémoise, avec pour conséquence des restrictions de capacité plus ou moins importantes lors des travaux sur ces voies. Des études de déviation de circulation en phase chantier ont donc été menées pour :

→ Étudier les circulations VP (véhicules particuliers) et TC (transports en commun) en phase chantier ;

→ Mesurer les reports de trafic durant les travaux sur les voiries ;

→ Proposer des itinéraires alternatifs pour les VP et valider les nouveaux itinéraires des bus ;

→ Identifier les impacts de ces modifications d'itinéraires sur la circulation, en particulier au centre-ville ;

→ Identifier les aménagements ponctuels sur le réseau de voirie.

La phase de travaux de réalisation du tramway et des aménagements liés (trémie de la gare, par exemple) représente un enjeu fort pour le réseau de bus actuel. En effet, le maintien du nombre de clients et des recettes commerciales dépend des itinéraires des lignes déviées, de la localisation des arrêts pour les voyageurs, des conditions de circulation des bus et du confort de la clientèle.

Rappelons que l'exploitation du réseau de bus a été reprise par le concessionnaire le 1^{er} janvier 2008. De plus, le maintien de la qualité de service attendue par la clientèle conditionne l'adhésion au projet tramway et au nouveau réseau de bus associé. Il faut donc maintenir la fréquentation actuelle du réseau pour :

→ Éviter de créer de nouvelles correspondances : le réseau dévié doit permettre à un maximum de voyageurs de continuer à effectuer leurs trajets de la même manière ;

→ Limiter les allongements de temps de parcours. En effet, une hausse des temps de trajet favorise l'usage de modes de déplacement alternatifs (marche, vélo...) ;

→ Ne pas perturber, pendant cette phase transitoire, les habitudes des clients, car les déviations de lignes représentent déjà une difficulté.

Pour la lisibilité du réseau, il vaut mieux conserver les origines-destinations (O-D) et les numéros de ligne, voire les lieux remarquables (points de correspondances notamment). Il convient également d'assurer la pérennité des dessertes. Dans l'optique de la mise en place, en 2011, du réseau de bus organisé, on favorise autant que possible la création d'arrêts pérennes, équipés aux normes d'accessibilité, plutôt que des arrêts provisoires créés dans le cadre du réseau dévié pour travaux.

De la même manière, on utilise préférentiellement les itinéraires futurs et on évite de mettre en place des itinéraires de déviation non pérennes.

AVANCEMENT DES TRAVAUX

Les déviations des réseaux des concessionnaires sont terminées. Le centre de maintenance, qui doit être disponible pour accueillir les rames à leur arrivée sur le site en vue de la première partie de leur qualification, est en cours d'achèvement et sera prêt en avril 2010, date d'arrivée de la première rame. L'avancement global des travaux est de plus de 70 % en janvier 2010. Les grandes échéances sont les premiers essais dynamiques en mai 2010, la marche à blanc à partir du 15 février 2011 et la mise en service commercial le 18 avril 2011.

EXPLOITATION DU RÉSEAU

La supervision du trafic est effectuée par des opérateurs depuis le PCC, situé dans le bâtiment du centre de maintenance. Il permet de suivre et de réguler à la fois la ligne de tramway et l'ensemble du réseau de bus.

Les opérateurs disposent des outils d'aide à l'exploitation, de surveillance vidéo et de localisation par GPS des véhicules (tramways et bus) sur leurs lignes respectives. Ils disposent également d'un radio-téléphone pour communiquer avec l'ensemble des conducteurs, où qu'ils se trouvent sur le réseau.

SERVICES TRAMWAY

Ils sont organisés de façon à assurer une offre à 6 minutes d'intervalle aux heures de pointe sur le service A Neufchâtel-Hôpital. Les courses sur le service B (Gare-Bezannes, à 18 minutes d'intervalle) viendront s'intercaler de façon à équilibrer la charge sur le tronçon commun. Aucun service partiel n'est envisagé.

L'augmentation ultérieure des besoins pourra être prise en charge, à fréquence identique, grâce à la possibilité de rallonger les rames à parc constant, et donc à personnel de conduite inchangé. La flotte est constituée de 18 rames. Dans le cas nominal, 15 sont en exploitation, deux en maintenance et une en réserve.

RÉORGANISATION DU RÉSEAU DE BUS

La première ligne de tramway, prévue pour 2011, représente la colonne vertébrale du réseau de transports publics. Les lignes de bus viennent en complément du mode tramway. Elles constituent un réseau performant grâce à des échanges de qualité, des fréquences importantes et attractives sur les lignes fortes du réseau et sur les lignes en rabattement tramway. Les lignes sont organisées de la façon suivante :

→ Une ligne de tramway.

Et en cours de finalisation avec l'autorité concédante :

→ Deux lignes de bus fortes ;

→ Sept lignes structurantes de liaison ;

→ Quatre lignes de bus de rocade en rabattement sur le tram ;

→ Quatre dessertes complémentaires (citadines, ZI) ;

→ Deux lignes scolaires non permanentes.

La gestion de la priorité des bus aux carrefours sera maintenue et développée.

ÉCHANGES INTERMODAUX

Les pôles d'échanges sont organisés de façon à rendre simples et fonctionnels les échanges entre les modes bus et tramway, au sein d'un seul et même réseau de transport. Le réseau est multimodal par :

→ La desserte des gares ferroviaires (TGV, grandes lignes, dessertes régionales) ;

→ La complémentarité et les échanges avec le réseau de cars départementaux ;

→ Une combinaison simplifiée offerte aux automobilistes : parkings d'échanges voitures (P+R) en entrée de la ville centre et de l'agglomération, de taille suffisante combinée à une tarification attractive ;

→ Une facilité d'échange avec les vélos (P+R vélos, accès dans le tramway en heures creuses, 100 arceaux à vélos répartis aux principales stations tramway) ;

→ L'organisation physique des échanges ;

→ La tarification multimodale ;

→ L'information multimodale (téléphonique, site Web, agence de renseignements et de vente).

Par ailleurs, une entrée permet aux détenteurs d'un abonnement au réseau de transport d'accéder aux parcs relais par un système de badge.

Une seconde entrée donne accès à la tarification à la voiture auprès du gardien. Les parcs relais regroupent l'ensemble des fonctions signalétiques traditionnelles, à savoir :



17

→ L'information générique (information sur la présence de ces parkings), localisée principalement le long des voies autoroutières et nationales ;

→ La pré-signalisation et la signalisation de guidage et de position (sur l'ensemble de la voirie) ;

→ L'identification de l'entrée et des accès réservés aux abonnés et aux autres catégories de public ;

→ L'information liée à l'usage des parkings (heures d'ouverture, modalités d'accès, tarification).

UN DÉFI HUMAIN ET TECHNIQUE

Pour Alstom et Bouygues construction, ce projet représente un formidable défi humain (en période de pointe, plus de 600 personnes se trouvent sur le site) et technique (en tant que responsable de la conception et de la gestion de toutes les interfaces systèmes, en vue de livrer un système performant au

17- Pose des selles avec la machine Appitrack.

17- Laying rail bearing plates with the Appitrack machine.

futur exploitant). Ce projet a aussi de fortes retombées en terme d'emplois. On citera notamment les entreprises locales suivantes, qui ont été associées au projet : GTC grands travaux de Champagne, Viellard Gaston SARL, Unibéton est, Béton Masoni, Sopreca, Béton 51, Spie est, Cica, Coprecs, ISS espaces verts, Art et Jardin, Edivert, Actuel Paysage. Rendez-vous est donné au 18 avril 2011, à la mise en service commerciale. □

ABSTRACT

REIMS TRAMWAY: TRANSPORT SYSTEM AND AN URBAN DEVELOPMENT PROJECT

JEAN-JACQUES RÉMY, BOUYGUES TP

A tramway project represents both a new transport offer and an urban integration and development project which transforms a city. By a resolution of Reims Métropole dated 12 July 2006, the company Mars was appointed concession owner of the Reims tramway project. It was accordingly assigned responsibility for the design, financing, construction, operation and maintenance of the first tramway line, and for operation of the entire urban transport network, bus and tramway, for 30 years. Mars awarded the design and construction work to a consortium consisting of Alstom Transport and the Bouygues subsidiaries Colas and Bouygues Construction, while operation and maintenance were entrusted to Transdev. □

TRANVÍA DE REIMS: SISTEMA DE TRANSPORTE Y UN PROYECTO DE ORDENACIÓN URBANA

JEAN-JACQUES RÉMY, BOUYGUES TP

Un proyecto de tranvía representa simultáneamente una nueva oferta de transporte y un proyecto de inserción urbana y de ordenación que transforma una ciudad. Por deliberación de Reims Métropole en fecha de 12 de julio de 2006, la empresa Mars fue nombrada concesionaria del proyecto de tranvía de Reims. Esta empresa tiene a su cargo el diseño, el financiamiento, la construcción, la explotación y el mantenimiento de la primera línea de tranvía, así como la explotación de la totalidad de la red de transporte urbana, autobús y tranvía durante 30 años. La empresa Mars ha encargado el diseño y la ejecución a una agrupación de empresas formadas por Alstom transport y Bouygues por mediación de sus filiales Colas y Bouygues construction, y la explotación y el mantenimiento a Transdev. □

LES DEUX NOUVELLES LIGNES DU TRAMWAY DE DIJON

AUTEUR : CHRISTOPHE THATCHER, DIRECTEUR DES ÉTUDES, MAÎTRISE D'ŒUVRE DU TRAMWAY DE DIJON, EGIS RAIL

LE PROJET DU TRAMWAY DE DIJON PRÉSENTE DE NOMBREUSES PARTICULARITÉS TECHNIQUES ET CONTRACTUELLES LIÉES À UNE VOLONTÉ DE RÉALISER UN PROJET RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT TOUT EN MAÎTRISANT LES DÉPENSES. DU POINT DE VUE ENVIRONNEMENTAL, LA RÉALISATION D'UN RÉSEAU D'EAU VERTE PERMET DE RÉCUPÉRER LES EAUX DE RUISSELLEMENT DANS LES PARKINGS SOUTERRAINS DE LA VILLE POUR L'ARROSAGE DE LA PLATE-FORME. LA MISE EN PLACE DE DRAINS AVEC EXUTOIRES DANS LES FOSSES D'ARBRES DES PLATES-FORMES ENGAZONNÉES PERMET ÉGALEMENT DE STOCKER ET D'INFILTRER UNE PARTIE DE L'EAU DE PLUIE DANS LES ÎLOTS ENHERBÉS LE LONG DE LA VOIE. DU POINT DE VU FINANCIER, LE PROJET N'A CONNU AUCUN DÉRAPAGE GRÂCE À UNE GESTION STRICTE AU NIVEAU DES AMÉNAGEMENTS URBAINS (GESTION SÉCURITAIRE DES GROS RONDS-POINTS), DES LOCAUX TECHNIQUES (NON ENTERRÉS, INTÉGRÉS EN SURFACE) ET DES CONTRATS (MATÉRIEL ROULANT).



© ALFRED PETER, ARCHITECTE PAYSAGISTE

CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

Le projet du tramway de Dijon consiste à construire deux lignes nouvelles sur une longueur totale de 20 km.

La ligne A est orientée Nord-Sud et relie les communes de Dijon et Chenôve sur 11,5 km, tandis que la ligne B est orientée Est-Ouest et relie les communes de Dijon et Quetigny sur 8,5 km.

Les deux lignes empruntent un tronçon commun de 1,2 km entre la gare et la place de la République.

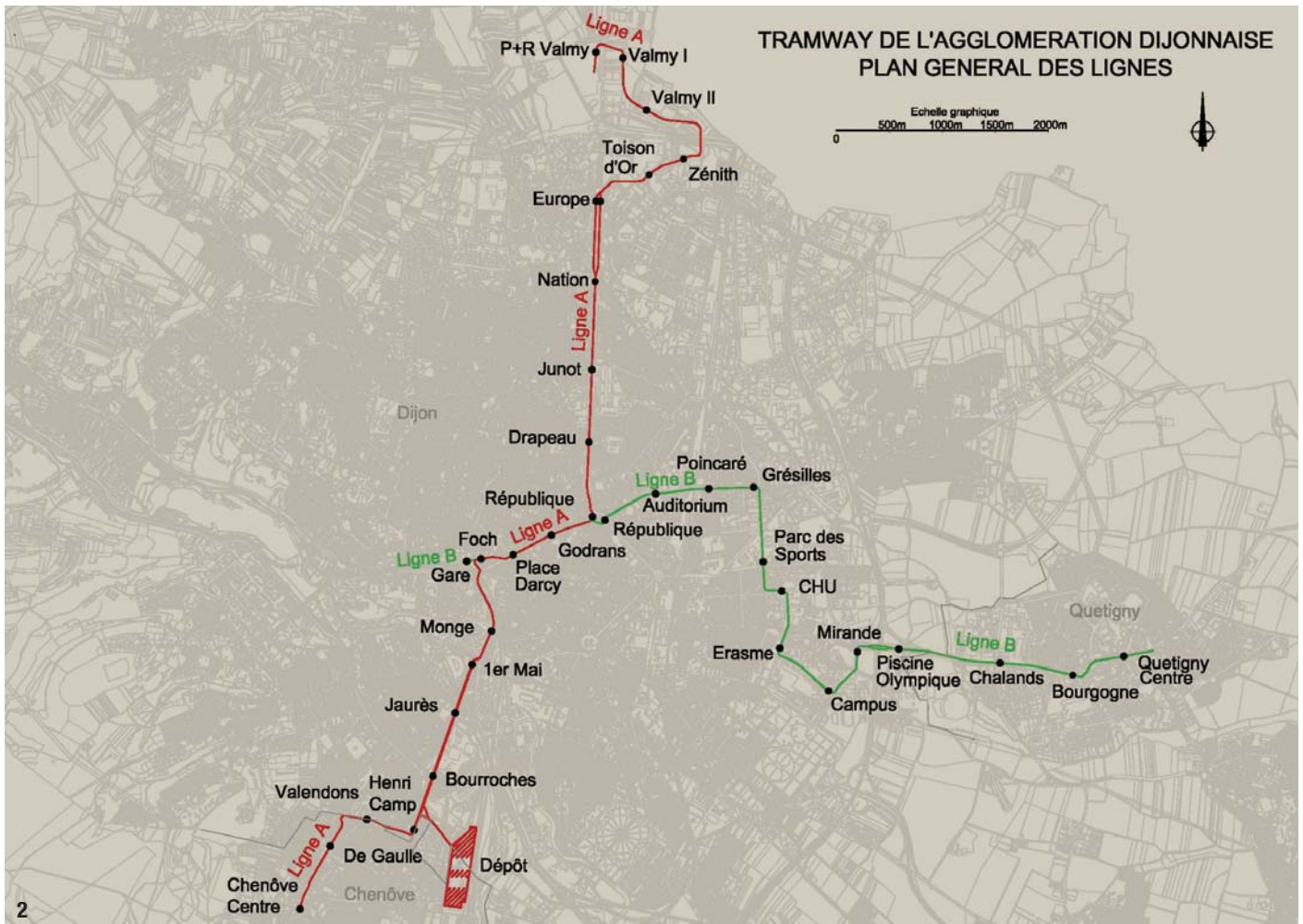
Le montant global de l'opération est estimé à 400 millions d'euros HT.

En sa qualité de maître d'ouvrage, le Grand Dijon a sollicité Egis rail pour être le maître d'œuvre général de l'opération. À ce titre, la société

**1- Photomontage
« Les Tree Pots
de la Place Darcy
à Dijon ».**

**1- Photomontage
"The Tree Pots of
Darcy square in
Dijon" - Architect
Alfred Peter.**

produit l'ensemble des études (des études préliminaires aux plans d'exécution), lance les marchés de travaux puis assure le suivi de ces travaux. Les études ont démarré en septembre 2007 avec la signature du contrat de maîtrise d'œuvre, la mise en service étant prévue pour janvier 2013 après une période de travaux de trois ans. ▷



Les études en sont aujourd'hui à la fin de la phase projet, et l'essentiel des chiffres figurant dans cet article sont issus des études de projet. Au stade actuel, les tracés sont définis et approuvés par la déclaration d'utilité publique, et le matériel roulant a été choisi : il s'agit d'un tramway Alstom Citadis de 33 m de long. Reste à monter les marchés afin de choisir les entreprises de travaux. Les différentes phases d'études (préliminaires, avant-projet et projet) sont assez similaires d'un projet de TCSP (transport en commun en site propre) à l'autre, mais des particularités techniques caractérisent chacun. En ce sens, le projet du tramway de Dijon se distingue sur plusieurs points.

MISE EN ŒUVRE D'UN RÉSEAU D'EAU BRUTE

La plate-forme du tramway est engazonnée sur 70 % de son linéaire afin de la rendre difficile d'accès aux piétons, et donc d'augmenter la vitesse du tramway, mais aussi pour favoriser l'aspect végétal du projet, sur lequel sont plantés 2 070 arbres. L'arrosage d'une telle surface (plus de 10 ha) nécessite

un apport d'eau de 58 000 m³ par an. Il a donc été envisagé de récupérer l'eau de la nappe, de la stocker dans un ancien réservoir de la ville (réservoir Darcy, situé au centre du projet) et de la réutiliser pour l'arrosage de la plate-forme. En effet, certains parkings de la ville laissent percoler de l'eau qui est pompée et rejetée directement dans le réseau d'eaux pluviales. C'est cette eau qui sera réacheminée tout au long de la plate-forme au moyen d'une canalisation de diamètre 200 mm. Posée dans une fouille commune avec le réseau primaire d'arrosage, elle permettra d'alimenter les chambres d'arrosage situées tous les 2 km environ. Le réseau d'eau brute est livré avec une pression Qmax de 4 à 5 bars.

DRAINAGE RÉGULÉ DE LA PLATE-FORME ENGAGONNÉE

Afin de limiter l'apport en eau d'arrosage de la plate-forme engazonnée, il a été décidé de stocker au maximum l'eau de pluie dans la partie végétalisée de la voie. L'eau est récupérée dans des drains longitudinaux de diamètre

60 mm situés entre les rails et les voies du tramway. Compte tenu de la faible épaisseur de la terre végétale sur le béton de la voie (19 cm), l'eau s'évapore rapidement, ce qui nécessite un arrosage régulier en période sèche (580 l par m² en moyenne sur l'année). L'eau de pluie est stockée dans les drains en limitant leur évacuation tous les 100 m environ, au moyen de puits d'infiltration situés dans les îlots végétalisés de part et d'autre de la plate-forme. Les fosses d'arbre captent et stockent l'eau de pluie provenant de la plate-forme et la restituent par percolation. Les points bas ainsi que les traversées piétonnes sont drainés traditionnellement au moyen de caniveaux à grille, avec évacuation vers le réseau d'eau pluviale urbain.

RÉCUPÉRATION DE L'ÉNERGIE DE FREINAGE

Les rames de tramway peuvent restituer du courant électrique via les lignes aériennes de contact lors des phases de freinage. Cela représente environ 30 % de l'énergie totale consommée. Ce courant est généralement récupéré

2- Plan général des lignes de tramway.

3- Réseau d'eau brute et d'arrosage le long de la plate-forme.

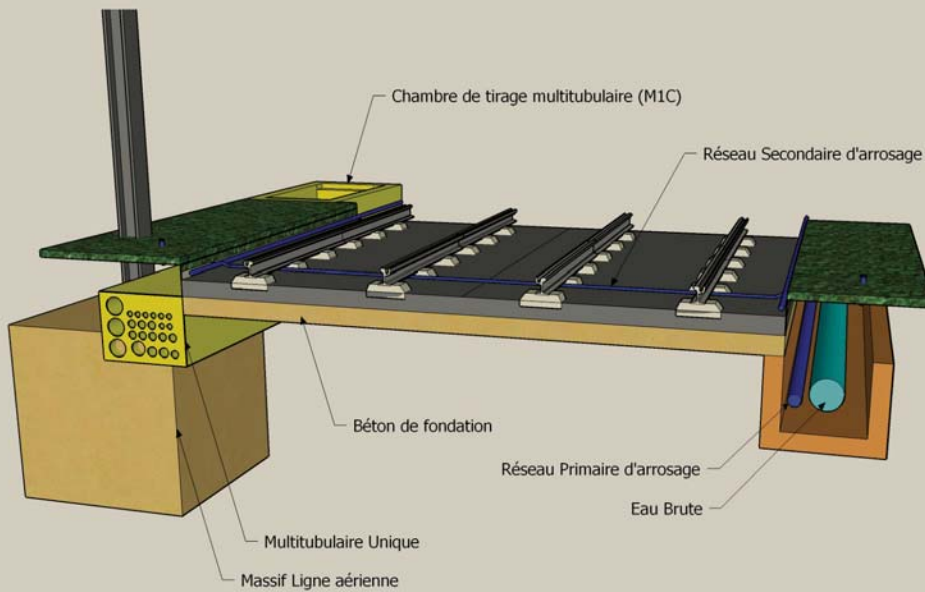
4 & 5- Vues du système de drainage de la plate-forme engazonnée.

2- General layout of tramway lines.

3- Raw water and sprinkler network along the track formation.

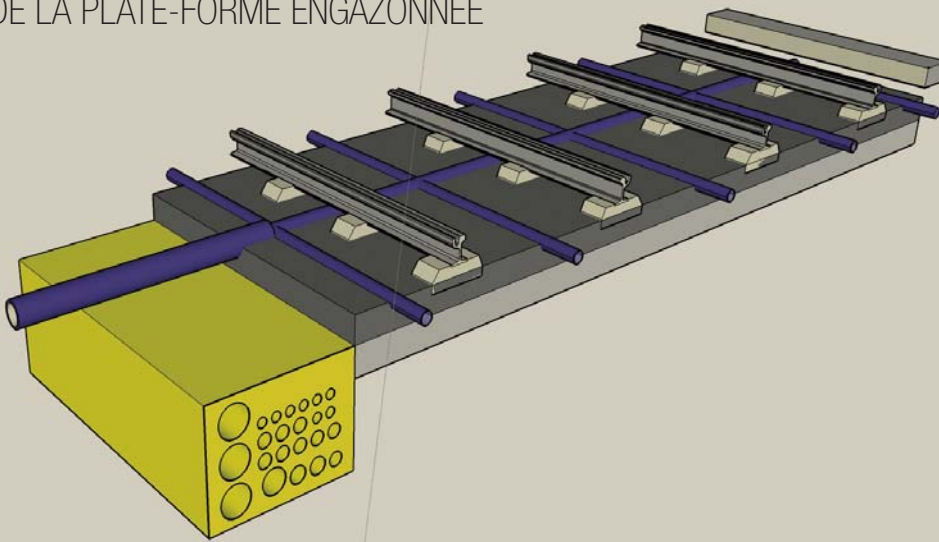
4 & 5- Views of the drainage system for the grass-planted formation.

RÉSEAU D'EAU BRUTE ET D'ARROSAGE LE LONG DE LA PLATE-FORME

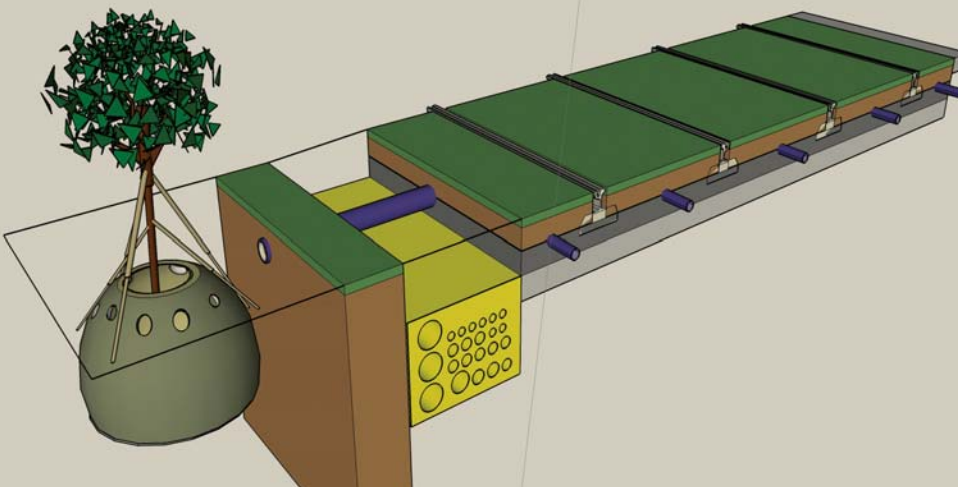


3

VUES DU SYSTÈME DE DRAINAGE DE LA PLATE-FORME ENGAZONNÉE



4



5

directement par d'autres rames de tramway circulant à proximité.

Cependant, environ 10 % de l'énergie de freinage ne peut pas être restituée instantanément, surtout en période creuse lorsque peu de rames circulent. C'est pourquoi, dans trois des neuf sous-stations situées sur le projet, on a prévu de mettre en place des dispositifs de réinjection du courant dans le réseau ErDF.

Le système préconisé est constitué d'un onduleur monté en antiparallèle sur un redresseur installé dans la sous-station.

BILAN CARBONE NÉGATIF

Un bilan carbone de l'opération a été réalisé début 2009, non seulement pour quantifier les émissions de carbone liées à la construction et à l'exploitation des lignes, mais aussi pour trouver des pistes afin de les réduire. Ainsi, l'impact de la construction sur base de l'avant-projet a été estimée à 18 250 t EC (équivalent carbone), et l'exploitation entre - 1 000 et - 2 000 t EC/an. L'impact carbone de la construction se calcule en fonction des types de matériaux utilisés, mais aussi de leur provenance. L'acier, qu'on trouve essentiellement dans les rails, constitue le poste le plus important du bilan carbone, car il nécessite beaucoup d'énergie pour sa réalisation et son transport (850 kg EC par tonne d'acier produite et transportée depuis le Luxembourg).

Le béton représente également un poste important.

Sa fabrication nécessite peu d'énergie (moins de 50 kg EC par tonne produite et transportée depuis une centrale à moins de 10 km), mais les volumes utilisés sont très importants.

Le bilan carbone de l'exploitation est cependant négatif, car on tient compte de la réduction du trafic automobile en centre-ville et du transfert des déplacements vers des modes doux.

Les dispositions pour limiter l'émission de carbone pendant les travaux sont les suivantes :

→ Utilisation de matériaux proches du chantier (petites centrales à béton, calcaire du Comblanchien, récupération de pavés existants) ;

→ Définition de zones de stockage des matériaux sur site ;

→ Limitation des zones de pose de voie antivibratile aux zones nécessaires (les matériaux plastiques représentent une consommation importante d'énergie) ;

→ Utilisation de matériaux de revêtement peu consommateurs d'énergie ▷



(gazon à 1,6 kg EC/m² et pavés de récupération au bilan quasi nul par rapport au béton désactivé qui, avec ses 6,1 kg EC/m², est peu présent dans le projet) ;

→ Utilisation d'acier recyclé qui permettrait d'économiser 1 200 à 2 400 tonnes EC.

DES LOCAUX TECHNIQUES CACHÉS DANS DES KIOSQUES

Par souci d'économie, aucun local technique lié à l'alimentation électrique du tramway n'a été enterré, car le coût de construction aurait été multiplié par cinq environ. C'est pourquoi les neuf sous-stations (de 90 à 110 m²) et les cinq locaux techniques (de 10 à 20 m²) sont soit implantés dans des lieux où il est possible de les cacher par des murs de végétaux, soit habillés architecturalement afin qu'ils ressemblent à des éléments urbains, comme c'est le cas sur la place de la République. À cet endroit, le local technique d'alimentation en basse tension et le local nécessaire à la signalisation ferroviaire sont dissimulés dans des faux kiosques à journaux.

UN DÉPÔT MIXTE TRAMWAYS-BUS

Dans le cadre de ce projet, il a été décidé de déplacer le dépôt actuel des bus de l'agglomération sur le futur site du tramway. Ainsi, le site du dépôt accueillera non seulement les 32 rames de tramway à la mise en service, mais également 215 bus sur une surface totale de 11,7 ha. Afin d'optimiser l'entretien des matériels roulants, la zone des ateliers tramway est contiguë à celle des ateliers bus.

Les bureaux administratifs ainsi que le poste de commande centralisé sont également communs. L'aspect environnemental n'a pas été négligé : démarche HQE avec piles photovoltaïques sur toiture (9 800 m²), bassins de rétention d'eaux de pluie pour nettoyage des bus et des tramways (2 200 m³), toitures-terrasses végétalisées (16 000 m²), réduction des consommations d'énergie de 50 % par rapport aux consommations réglementaires (RT 2005), piles photovoltaïques en couverture des zones de garage des bus.

DES RONDS-POINTS TRAVERSÉS PAR LE TRAMWAY

L'utilisation de ronds-points traversés par des voies de tramway en site propre

est de moins en moins acceptée par les organismes agréés de sécurité urbaine. Ainsi, sur de nombreux réseaux de tramways tels que ceux de Montpellier, Lyon et Grenoble, les gros ronds-points ont été remplacés par des carrefours à feux, jugés moins dangereux pour le passage du tramway.

Cette modification représente un coût important. Un travail a donc été mené à Dijon afin de conserver trois gros ronds-points grâce à des aménagements mineurs. La solution pour réduire la vitesse automobile et améliorer la sécurité est la suivante :

→ Réduction de la largeur de l'anneau à une voie de 5 m de large ;

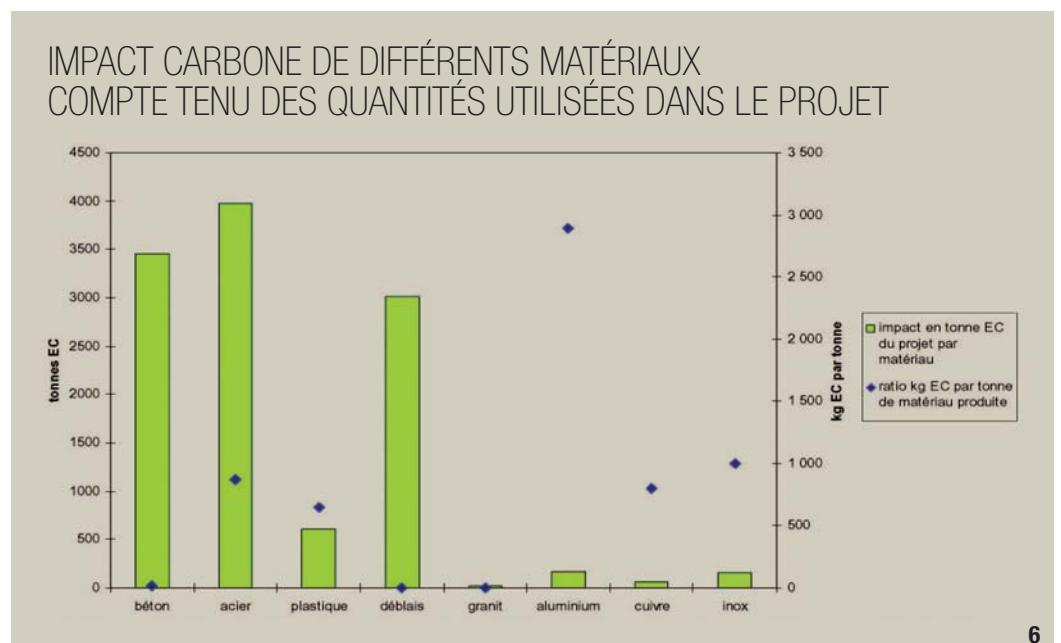
→ Surlargeur intérieure de l'anneau de 4 m pour les convois exceptionnels ;

6- Impact carbone de différents matériaux compte tenu des quantités utilisées dans le projet.

7- Local technique rue des Gaulois (derrière la haie à droite).

6- Carbon footprint of various materials taking into account the quantities used in the project.

7- Equipment room on Rue des Gaulois street (behind the hedge on the right).





8- Projet pour le dépôt mixte tramway-bus de Dijon.

9- Rond-point de la Nation traversé par le tramway.

8- Design for the Dijon combined tramway-bus depot.

9- "La Nation" roundabout passed through by the tramway.

8

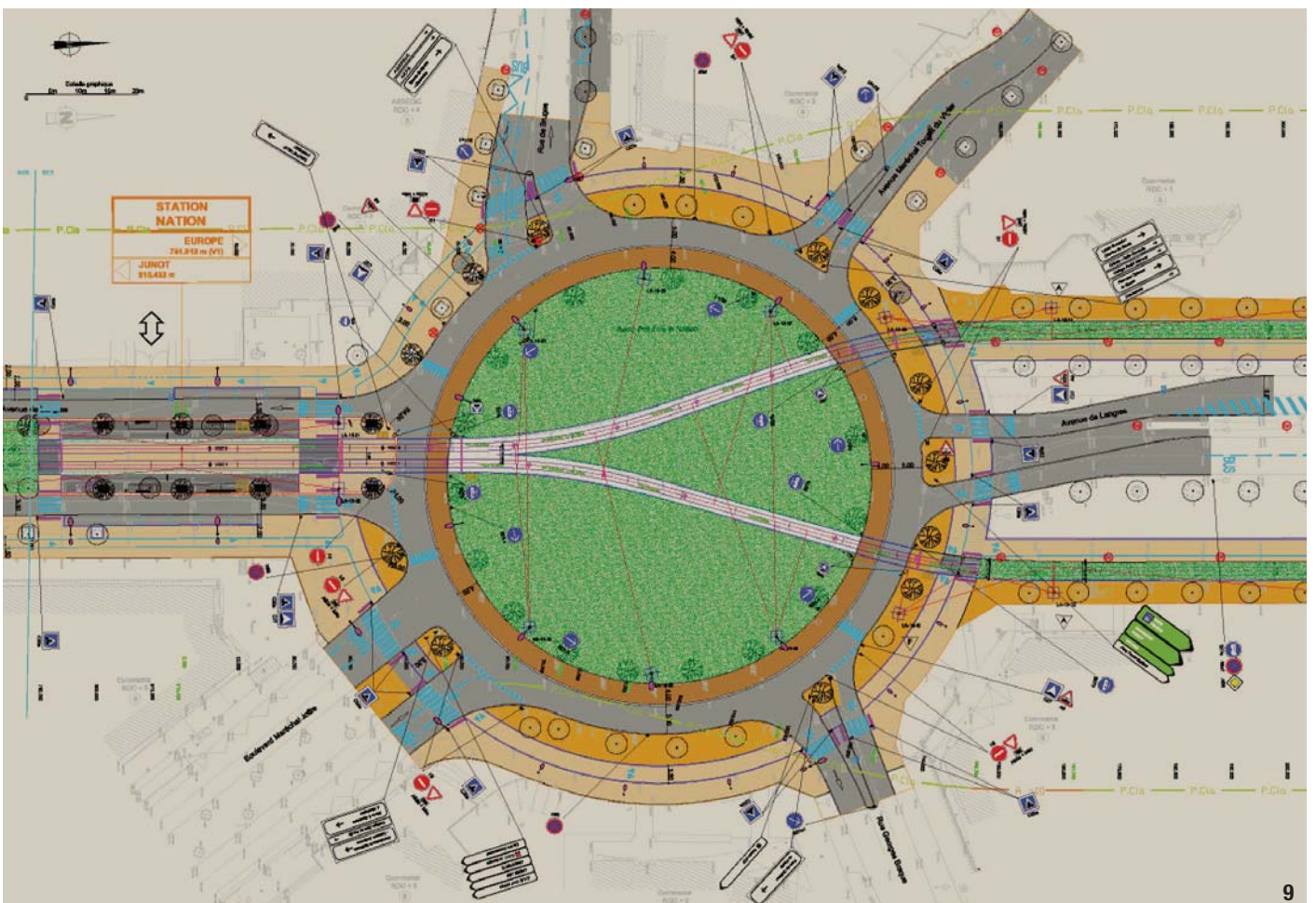
→ Mise en place de plateaux surélevés sur l'anneau, au droit des traversées de voie ferrée, afin de réduire la vitesse des véhicules ;
 → Utilisation de feux ferroviaires R24 (feux rouges clignotants au droit des traversées de plate-forme) et panneaux de police ;

→ Réduction des voies d'entrée dans le rond-point à une seule file de circulation.
 Grâce à ces aménagements, la signature du préfet approuvant le projet au niveau de la sécurité des aménagements a été obtenue en fin de phase projet.

CONTRAT DE FOURNITURE COMMUN

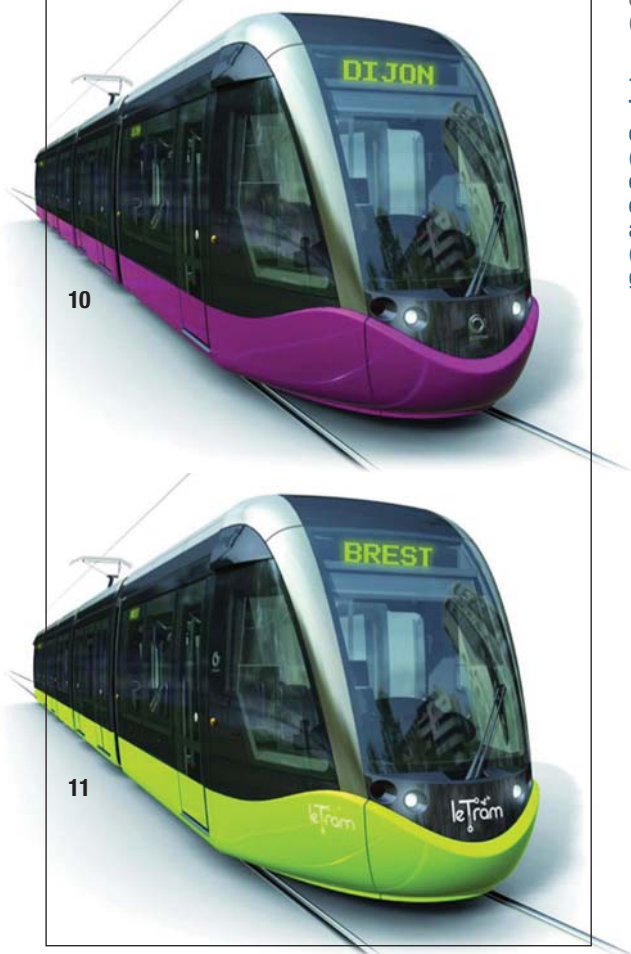
Afin de réduire le coût du matériel roulant, les villes de Dijon et de Brest, qui prévoient toutes deux une mise en service d'une ou deux lignes de tramway fin 2012 ou début 2013, se sont associées pour lancer un appel d'offre com-

mun. Le design extérieur du tramway a été choisi par la municipalité brestoise après consultation de la population. Dijon a suivi ce design à la lettre, seule la couleur extérieure peut varier. En revanche, le design intérieur a été personnalisé pour les deux municipalités. Les caractéristiques techniques, ▷



9

TRAMWAYS DE DIJON (CASSIS) ET DE BREST (VERT ANIS)



**10 & 11-
Tramways
de Dijon
(cassis)
et de Brest
(vert anis).**

**10 & 11-
Tramways
of Dijon
(black-
currant
colour)
and Brest
(aniseed
green).**

quant à elles, ont été homogénéisées dans l'appel d'offre. Cela a permis d'augmenter le nombre de rames du contrat (cumul de 20 pour Brest et 32 pour Dijon), et donc de réduire le coût de développement et de stimuler la

compétitivité des entreprises. Quatre candidats ont répondu à l'appel d'offre : Stadler, CAF, Bombardier et Alstom. Plusieurs vagues de négociations ont été lancées avec les quatre concurrents, menées à Brest, Dijon et Paris

par les deux agglomérations de Brest et Dijon. Après une bataille serrée, Alstom a remporté le contrat avec un coût moyen par rame de 2,05 millions d'euros HT pour son Citadis 301, au lieu des 2,5 à 3 millions constatés sur d'autres réseaux récents.

Le montant total du contrat s'élève à 106,5 millions d'euros HT pour les deux agglomérations, soit une économie de 30 % par rame par rapport au tramway de Marseille, par exemple.

UN PHASAGE DES TRAVAUX OPTIMISÉ

Le démarrage des travaux de voirie est prévu en octobre 2010 pour une mise en service en janvier 2013, éventuellement anticipée fin 2012.

Cela revient, pour le maître d'œuvre, à réaliser 20 km de tramway en un peu moins de deux ans, essais et formation du personnel de conduite inclus.

Ce planning très tendu a obligé Egis rail à prévoir un phasage serré, respectant les principes suivants :

→ Lancement d'un appel d'offre pour un marché général regroupant les travaux de voirie, de plate-forme, de voie ferrée, d'arrosage, de mobilier, d'eau brute et d'engazonnement, afin d'optimiser l'intervention de tous les corps d'état sous la responsabilité d'une même entreprise ;

→ Mise en place d'une dizaine de fronts de travaux en simultané ;

→ Coordination globale de tous les marchés lors de réunions de maîtrise et coordination des chantiers, qui ont lieu une fois par semaine et anticipent les déviations de circulation deux mois avant les travaux ;

→ Anticipation des travaux de restitutions riveraines afin de libérer au plus tôt des emprises pour la phase travaux ;

→ Utilisation de techniques de travaux éprouvées, reconnues à la fois pour leur rapidité et leur fiabilité, tout en laissant la possibilité aux entreprises de proposer des variantes de réalisation.

Les travaux de déviations de réseaux ont démarré début janvier 2010, les entreprises générales d'infrastructures seront notifiées en juillet 2010. Les premiers travaux de plate-forme, voirie et ouvrages d'art seront lancés en septembre 2010 et permettront la mise en œuvre des différents aménagements prévus. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Grand Dijon

MAÎTRE D'ŒUVRE :
Egis rail (mandataire), cabinet Alfred Peter (architecte paysagiste)

SOUS-TRAITANTS MAÎTRISE D'ŒUVRE :
Egis aménagement, Egis mobilité, Egis conseil, Egis eau, Mediacité (communication)

ENTREPRISES :
Alstom (matériel roulant), Géotec (études géotechniques), Demongeot-Spie et Colas-Eurovia (travaux préparatoires), DCE des entreprises travaux en cours

CHEF DE PROJET MAÎTRISE D'ŒUVRE :
Stéphane Goichon (Grand Dijon)

CHEF DE PROJET MAÎTRISE D'ŒUVRE :
Jean Louis De Carli (Egis rail)

ABSTRACT

TWO NEW TRAMWAY LINES IN DIJON

CHRISTOPHE THATCHER, EGIS

The Dijon tramway project has many special technical and contractual features related to the goal of carrying out a project that is environmentally friendly while controlling expenses. From the environmental viewpoint, the development of a "green" water network made it possible to recover runoff water in the city's underground car parks for watering the track formation. Drains with outlets installed in tree trenches on the grass-planted track formations also allow storage and infiltration of part of the rainwater on grass-covered islands along the track. From the financial viewpoint, there were no cost overruns on the project thanks to tight management of urban development works (safety management of large roundabouts), equipment rooms (not underground, but on the surface) and contracts (rolling stock). □

LAS DOS NUEVAS LÍNEAS DEL TRANVÍA DE DIJON

CHRISTOPHE THATCHER, EGIS

El proyecto del tranvía de Dijon presenta numerosas particularidades técnicas y contractuales vinculadas con una voluntad de realizar un proyecto respetuoso del medio ambiente controlando siempre los gastos. Desde el punto de vista medioambiental, la ejecución de una red de agua verde permite recuperar las aguas de escorrentía en los aparcamientos subterráneos de la ciudad para el riego de la plataforma. La implantación de drenes con exutorios en las zanjas de árboles de las plataformas sembradas de césped permite además almacenar e infiltrar una parte del agua de lluvia en los islotes enyerbados a lo largo de la vía. Desde el punto de vista financiero, el proyecto no ha tropezado con problemas mayores debido a una gestión estricta a nivel de las ordenaciones urbanas (gestión de seguridad de las grandes glorietas), los locales técnicos (no enterrados, integrados en superficie) y de los contratos (material rodante). □



LE TRAMWAY D'ANGERS

AUTEURS : BRUNO PETRUCCI, DIRECTEUR EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS OUEST - GÉRARD GILLIOCO, DIRECTEUR DE TRAVAUX (EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS) - BRUNO EHANNO, INGÉNIEUR, RESPONSABLE QSE (EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS) - AMMAR TRICHE, INGÉNIEUR DIRECTION TECHNIQUE (EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS) - CHRISTOPHE VEDEL, DIRECTEUR DE PROJET (MAÎTRISE D'ŒUVRE - INGEROP)

LE TRAMWAY D'ANGERS RESTE DANS LA LIGNÉE DES PROJETS DE TRAMWAYS RÉCEMMENT RÉALISÉS PAR EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS : TRAVAUX CONSÉQUENTS EN MILIEU URBAIN OU HYPER-URBAIN, AVEC MISE EN PLACE D'UNE STRUCTURE DE CHANTIER ADAPTÉE AU CONTEXTE LOCAL ET UNE OFFRE TECHNIQUE COMPLÈTE (MATÉRIAUX, MATÉRIELS, MÉTHODES) RÉPONDANT AUX ATTENTES DU MAÎTRE D'OUVRAGE. LES SPÉCIFICITÉS DU TRAMWAY D'ANGERS, NOTAMMENT L'ALIMENTATION PAR LE SOL ET LE TRAFIC SUR LES SECTEURS REVÊTUS EN MATÉRIAUX MODULAIRES ONT MOBILISÉ PLUSIEURS INGÉNIEURS ET SPÉCIALISTES DU GROUPE POUR LA MISE AU POINT D'UNE MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE À LA CONSTRUCTION DES REVÊTEMENTS DE SURFACE.

Nantes, Grenoble, Lyon, Saint-Etienne, Montpellier, Paris, Mulhouse, Valenciennes, Clermont-Ferrand... la liste ne cesse d'augmenter. Depuis une trentaine d'années, le tramway opère un retour en force dans la plupart des grandes agglomérations françaises, après avoir été abandonné au profit de

la voiture et du bus. De l'âge d'or du tramway, il ne subsiste en France que quelques bribes de réseaux (rénovés au fil du temps) tel que le réseau de Lille Métropole, alors que l'ensemble des anciens réseaux disparaissaient sous le bitume. Fin 2008, Eiffage Travaux Publics Ouest et sa filiale DLE, en partenariat avec une PME locale, ont été

adjudicataires d'un marché d'aménagements urbains lié à la construction de la future ligne de tramway d'Angers Loire Métropole. Le marché comprend les travaux de terrassements des plateformes, la pose du réseau de multibulaires, les VRD et le revêtement de la voie, sur un linéaire de 5,5 km au cœur de la ville d'Angers.

DES TRANSPORTS FACILITÉS AU CŒUR DE L'AGGLOMÉRATION

Pierre angulaire du futur réseau de transport angevin, la première phase de la ligne du tramway (ligne A) reliera en moins de 37 minutes, Avrillé (au nord de l'agglomération) au quartier de la Roseraie (au sud d'Angers), en passant par les centres-villes d'Avrillé ▷



et d'Angers (figure 2). D'une longueur de 12 kilomètres, dotée de 25 stations d'arrêt, la ligne sera ponctuée de 5 pôles d'échanges dont 4 équipés de parkings relais, pour un coût global de l'ordre de 250 M€/HT.

Outre le développement local des transports en commun, les travaux d'aménagement connexes à la construction de la ligne contribuent au renouvellement de l'espace urbain : aménagements pour piétons, plantations d'arbres, végétalisation de la plate-forme, pistes cyclables. ...

Avec 280 000 habitants, 30 000 étudiants et une croissance économique en plein

2- Tracé du tramway reliant Avrillé à Angers.

3- Système d'alimentation par le sol (APS).

2- Route of the tramway linking Avrillé to Angers.

3- Ground-level power supply (APS) system.



essor, Angers et son agglomération comptent parmi les métropoles françaises les plus dynamiques.

Au printemps 2011, cette première ligne de tramway desservira environ 57 000 habitants et 21 000 emplois, à moins de 400 m du tramway, soit :

→ Avrillé, seconde ville de l'agglomération après Angers avec 13 000 habitants,

→ Le parc du végétal « Terra Botanica », outil de promotion de la filière végétale angevine et des savoir-faire locaux,

→ Le futur quartier « Les hauts de Saint-Aubin » et notamment son pôle d'activités,

→ Les grands équipements de l'agglomération tels que le CHU, les pôles universitaires, la cité administrative,

→ Angers, première ville de l'agglomération avec 156 000 habitants,

→ Les gares SNCF (11 000 voyageurs par jour en moyenne) et routière,

→ Le quartier de La Roseraie en pleine opération de renouvellement urbain (rénovation et construction de nombreux équipements publics).

La ligne sera empruntée quotidiennement par plus de 35 000 voyageurs.

En juillet 2006, Angers Loire Métropole a décidé de retenir la société Alstom pour la fourniture des rames, et opté

pour l'alimentation par le sol ou APS (photo 3) sur certaines zones du tracé. Ce système permet la propulsion du tramway et la suppression des caténaires dans les centres-villes. Angers Loire Métropole devient ainsi la deuxième agglomération française, après celle de Bordeaux, à adopter ce système.

PROGRAMME DES TRAVAUX - SPÉCIFICITÉS

En avril 2008, les travaux sont lancés simultanément en centre-ville (boulevard du Maréchal Foch) et sur le plateau de la ZAC des Capucins (rue Renée - rue des Capucins), parallèlement aux travaux de déviations des réseaux qui se poursuivent le long de la future ligne.

Dans un premier temps, les travaux consistent à réaliser les installations de chantier et de stockage des matériaux, la signalisation provisoire, les mesures de protection des riverains et du chantier (barrières, clôtures, passerelles) : le chantier, situé en partie en hyper-centre d'Angers, nécessite de s'entourer de nombreuses précautions pour limiter au minimum les nuisances occasionnées par les travaux (bruit, poussières) et la circulation des différents usagers (piétons, cyclistes, automobilistes, trans-



4



5

port en commun) (photos 1, 4 et 5). Ensuite sont réalisés les travaux de dépose du mobilier urbain, les travaux de démolition et de terrassement, puis l'assainissement pluvial.

Le chantier s'est poursuivi à un rythme relativement soutenu, faisant intervenir les différents corps de métiers : couche de forme de la future plate-forme, assainissement, VRD, réseaux multitu- bulaires, travaux de chaussées, pose des séparateurs... (photos 6 et 7).

Une fois la première phase des travaux terminée, les plates-formes sont livrées au fur et à mesure à l'entreprise en charge des massifs de la ligne aérienne

de contact (LAC), de la structure béton de la voie, de la pose des rails et des équipements.

La dernière phase des travaux consiste, après la restitution de la plate-forme équipée de sa voie ferrée, à réaliser les revêtements définitifs des plates- formes, les couches de roulement des chaussées, la pose des bordures et caniveaux, les revêtements de trottoir, le mobilier urbain, la signalisation.

Au démarrage du chantier, Eiffage Travaux Publics et ses partenaires ont adapté leurs méthodes de travail afin de répondre aux impératifs liés aux spécificités des travaux en milieu

urbain et hyper-urbain : utilisation d'un matériel de compactage adapté (éviter les désagréments des vibrations), recherche de matériaux performants pour une remise en circulation rapide, adaptation de matériel courant pour répondre au travail en zone urbaine ou entre rails, etc.

Le choix de l'alimentation par le sol (APS) a également impliqué la mise en place de procédures de travail adaptées pour tenir compte de la présence d'un troisième rail (servant à alimenter le tramway en énergie électrique).

LES REVÊTEMENTS DE PLATE-FORME

Étape phare du chantier, les travaux de revêtement des plates-formes consistent à combler les 17 à 18 derniers centimètres qui séparent la surface du béton de voie (communément appelé BC5) et la surface du rail. Cette opération permet à la voie de s'intégrer totalement dans l'espace urbain.

Le choix des matériaux de surface se fait selon plusieurs critères : architectural, technique, retour d'expériences.

Les techniques et matériaux actuels offrent un panel complet de solutions : matériaux modulaires, béton, enrobés, gazon... À Angers, le choix s'est porté sur 3 types de revêtements : les matériaux modulaires (pierre naturelle et béton), le gazon et le béton désactivé pour les traversées de carrefours.

Le gazon, devenu un matériau incontournable au fil des chantiers représente le revêtement le plus utilisé sur le cheminement du tramway, suivi des matériaux modulaires et enfin du béton désactivé.

Le gazon présente plusieurs avantages aux yeux des architectes et urbanistes : ruban de verdure permettant d'associer des aménagements végétaux hors plate-forme, il apporte un côté développement durable avec introduction d'espaces verts en milieu urbain.

Du point de vue financier, son coût est relativement inférieur aux autres matériaux (notamment les pavés en pierre naturelle). L'enjeu aujourd'hui est la réduction des quantités d'eau destinée à l'arrosage du gazon.

Les matériaux modulaires (pavés et dalles), qu'ils soient en pierre naturelle ou en béton, sont régulièrement préconisés par les architectes : ces matériaux favorisent les aménagements tels que les places ou placettes, sur les chantiers au cœur des centres villes historiques. Ils offrent une multitude de coloris et de nuances permettant de les intégrer harmonieusement dans l'environnement ▷

4- Balisage pendant les travaux.

5- Boulevard Foch pendant les travaux.

4- Staking out during the works.

5- Boulevard Foch during the works.



urbain et le contexte architectural local. Cependant, leur utilisation sous circulation (usagers et notamment camions et bus) est délicate et nécessite des études spécifiques.

À Angers, Eiffage Travaux Publics a soigneusement étudié les zones circulées (plate-forme ou trottoirs) ayant pour revêtement de surface des matériaux modulaires. Un dimensionnement de structure, basé sur les outils de dimensionnement classiques (Alizé, VoiriB) et des procédures d'exécution spécifiques

tenant compte de l'expérience ont été mises en place pour répondre à cette problématique.

Pour la plate-forme, le choix des matériaux et les dispositions constructives retenues tiennent compte des appareillages de voies, du rail APS, des capots et blochets, des éléments de drainage.

Le béton désactivé a été retenu pour la réalisation des carrefours croisant le tracé de la ligne du tramway (voir paragraphe suivant).

6- Travaux de VRD.

7- Pose de dalles place Mitterrand.

8- Pose des multitubulaires.

6- Main services works.

7- Placing slabs on Mitterrand square.

8- Placing multitube systems.

LES CARREFOURS

Les traversées de plate-forme, croisements des voies classiques et de la voie tramway, représentent un point spécifique dans la construction de l'ouvrage : la structure doit reprendre simultanément les efforts latéraux et verticaux du tramway ainsi que les efforts de la circulation usuelle (voiture, camions et bus).

Le choix du revêtement en carrefour est primordial pour la tenue à long terme de l'ouvrage et dépend de plusieurs

LA RÉALISATION DES RÉSEAUX MULTITUBULAIRES

Les réseaux multitubulaires sont destinés au transport d'énergie (courants forts et courants faibles) telles que l'alimentation du tramway, l'alimentation de la signalisation ferroviaire, la fibre optique, les réseaux pour les caméras et la billetterie. Constitués de nombreux fourreaux, les réseaux multitubulaires sont bétonnés pour garantir une résistance mécanique aux différentes contraintes (sol, trafic, vibration...). Ils sont généralement construits de part et d'autre de la plate-forme du tramway.

L'exécution classique de ces ouvrages consiste à les réaliser sur place de manière traditionnelle : coffrage et coulage.

Dans le cadre du Tramway d'Angers, Eiffage Travaux Publics et ses partenaires ont proposé deux solutions variantes intéressantes :

- Pré-fabriquer en atelier des voiles en béton en forme de U, les acheminer sur chantier, les poser, régler l'altimétrie, placer les tuyaux en PVC et couler le béton (photo 8).
- Réaliser les multitubulaires à l'aide d'une machine à coffrage glissant adaptée, méthode issue de la recherche et de l'expérimentation d'AER, filiale d'Eiffage Travaux Publics. Les tuyaux sont assemblés au préalable sur le fond de forme réglé et compacté. Le béton est ensuite mis en œuvre à l'aide de la machine à coffrage glissant équipée d'un moule adapté au nombre de fourreaux à enrober (photo 9). Cette technique permet un rendement supérieur aux deux premières solutions. Elle est principalement adaptée à un contexte périurbain car elle nécessite une largeur de travail minimale.

Cette dernière technique vient d'être primée par Eiffage dans le cadre des Trophées de l'Innovation du Groupe.





facteurs : technique, architectural, politique d'entretien, sécurité... La maîtrise d'œuvre a opté pour des matériaux minéraux sur l'ensemble de la plate-forme du tramway, y compris les carrefours.

Ces derniers sont réalisés en béton désactivé (photo 10).

Ce matériau offre l'avantage d'une mise en œuvre facile, une bonne résistance à l'orniérage et des possibilités de traitement favorisant son intégration dans l'aménagement général. Il permet également de différencier la plate-forme des enrobés de voie avoisinants, de marquer celle-ci pour une sécurité améliorée.

Une autre spécificité des carrefours consiste à retenir une solution technique pour la transition entre le rail et le revêtement.

Ce point névralgique conditionne la bonne tenue à long terme du carrefour : une mauvaise réalisation de cette interface conduit à des dégradations pré-

9- Mise en œuvre de béton extrudé.
10- Mise en œuvre de béton désactivé.

9- Placing extruded concrete.
10- Placing deactivated concrete.

maturées des matériaux de surface et de l'ouvrage. La solution retenue est la mise en place d'un plat métallique le long du joint, associé à un ferrailage, afin d'éviter la fissuration du béton (photo 10).

Il s'agit d'une solution classique en tramway et qui a déjà donné satisfaction sur d'autres projets. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

CHAUSSÉES ET PLATES-FORMES DE TRAMWAY : 87 000 m²
DÉCAPAGE ET DÉBLAIS : 70 000 m³
GNT : 60 000 tonnes
TRANCHÉES : 11 000 ml
RÉSEAU MULTITUBULAIRES : 12 000 ml
REVÊTEMENTS EN PIERRE NATURELLE : 16 000 m²
REVÊTEMENTS EN PAVÉS BÉTON : 22 000 m²
BORDURES EN PIERRES NATURELLES : 30 000 ml

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Angers Loire Métropole

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : TSP

MAÎTRISE D'ŒUVRE :
Ingerop (mandataire) / Inexia / Tractebel / Cabinet d'architectes Frédéric Rolland

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :
DLE Ouest (groupe Eiffage, mandataire), Eiffage Travaux publics Ouest, Luc Durand

MONTANT DES TRAVAUX :
39,1 M€

ABSTRACT

THE ANGERS TRAMWAY

BRUNO PETRUCCI, EIFFAGE - GÉRARD GILLIOCO, EIFFAGE - BRUNO EHANNO, EIFFAGE - AMMAR TRICHE, EIFFAGE - CHRISTOPHE VEDEL, INGEROP

The Angers tramway is in line with the tramway projects carried out recently by Eiffage Travaux Publics: major works in an urban or hyper-urban environment, involving the establishment of a project structure adapted to the local context and a comprehensive technical proposal (materials, equipment, methods) meeting the client's expectations. Given the specific features of the Angers tramway, in particular the ground-level power supply and traffic over segments covered with modular materials, several of the Group's engineers and specialists were deployed to develop a suitable methodology for construction of the surface coatings. □

EL TRANVÍA DE ANGERS

BRUNO PETRUCCI, EIFFAGE - GÉRARD GILLIOCO, EIFFAGE - BRUNO EHANNO, EIFFAGE - AMMAR TRICHE, EIFFAGE - CHRISTOPHE VEDEL, INGEROP

El tranvía de Angers permanece en la línea de los proyectos de tranvía recientemente realizados por Eiffage Travaux publicos: trabajos consecuentes en entorno urbano o hiperurbano, con implementación de una estructura de obra adaptada al contexto local y una oferta técnica completa (materiales, equipamientos, métodos) que responden a las expectativas de la empresa contratante. Las especificidades del tranvía de Angers, fundamentalmente, la alimentación por el suelo y el tráfico en los sectores revestidos con materiales modulares han movilizad varios ingenieros y especialistas del Grupo para la elaboración de una metodología adaptada a la construcción de los revestimientos de superficie. □

CONSTRUCTION DU MÉTRO DES LIEUX SAINTS DE LA MECQUE EN ARABIE SAOUDITE

AUTEURS : AYMEN CHEIKH MHAMED, SYSTRA, DÉPARTEMENT GCOA, PARIS, FRANCE - HABIB ZAINALABIDIEN, PHD, DIRECTEUR DE DECOM, DIRECTEUR ADJOINT MOMRA, KSA - PHILIPPE MOINE, PE, SYSTRA, DÉPARTEMENT GCOA, PARIS, FRANCE - MOHAMMAD KASHANI, PHD, SYSTRA, DIVISION MOYEN-ORIENT, PARIS, FRANCE - MAURICE STACK, SYSTRA, DÉPARTEMENT ARCHITECTURE, PARIS, FRANCE

SUR UNE LONGUEUR DE 18 KM ET DESSERVANT NEUF STATIONS, LE MÉTRO DES LIEUX SAINTS DE LA MECQUE DOIT POUVOIR ACCUEILLIR UN FLUX DE PASSAGERS EXCEPTIONNEL AU MOMENT DU PÈLERINAGE. AFIN DE RELEVER CE DÉFI DANS LES DÉLAIS IMPARTIS, LA CONSTRUCTION A PRIVILÉGIÉ DES SOLUTIONS DE STANDARDISATION ET DE PRÉFABRICATION, TOUT EN APPORTANT UN SOIN PARTICULIER À LA DIMENSION ESTHÉTIQUE AFIN QUE LES STATIONS S'INTÈGRENT PARFAITEMENT DANS LE PAYSAGE.



LE CONTEXTE DU PÈLERINAGE

Chaque année, pendant sept jours définis par le calendrier lunaire, près de 3,5 millions de musulmans se rassemblent dans la ville sainte de La Mecque pour accomplir un des cinq piliers de l'islam, le Hajj. La mosquée sacrée El Kaa'ba se trouve dans la ville de La Mecque. À la périphérie, vers l'est, se situent les trois

lieux saints, théâtres d'un enchaînement de déplacements particuliers limités dans le temps et l'espace pendant les sept jours du Hajj. Ces lieux s'étendent sur une bande de 18 km de long et plus de 3 km de large. Ils subissent un trafic dense qui atteint ses limites malgré une infrastructure routière développée. Le gouvernement saoudien (ministère des

Affaires rurales et municipales) a décidé d'équiper les lieux d'une première ligne de métro. Systra a été un acteur majeur dans la première phase d'étude fonctionnelle d'une ligne de 18 km de long desservant neuf stations, avec une capacité de 72 000 passagers par heure et par sens de circulation. Systra réalise la conception détaillée du projet d'exécution.

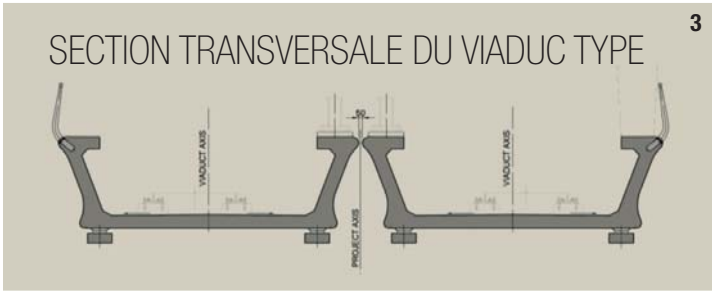
LE PLANNING, UNE CONTRAINTE MAJEURE

Le projet a été confié à l'entreprise chinoise CRCC, qui a décidé d'attribuer l'étude d'exécution du génie civil à Systra, assisté par un bureau d'études saoudien. Une des contraintes majeures du projet réside dans le planning. En effet, CRCC a deux ans pour cons-



2

2- Vue générale du projet.
3- Section transversale du viaduc type.
4- Préfabrication du tablier.
5- Pose d'une poutre.



3



4

2- General view of the project.
3- Typical cross section of the viaduct.
4- Prefabrication of the deck.
5- Placing a beam.



5

truire, équiper et livrer la ligne de métro. La date de livraison est déjà fixée, car la ligne doit être opérationnelle pour le pèlerinage de 2010. Tout retard d'un jour sur la livraison diffèrera l'ouverture d'une année. Pour faire face à ce défi, Systra a mis en place une conception basée sur la préfabrication :

→ Dans la zone des viaducs, le concept

Systra de poutre en U préfabriquée, précontrainte par torons adhérents, de 25 m de long et pouvant être posée par des grues mobiles, a été un choix stratégique ;

→ Dans la zone des stations, les quais sont supportés par des poutres en π préfabriquées précontraintes par pré-tension de 12,5 m de long.

Une attention particulière a également été apportée à l'aspect esthétique. La réduction de l'impact visuel de la ligne est obtenue grâce au viaduc en forme de U proposé par Systra, qui a déjà équipé plus de 150 km de lignes à travers le monde. Quant à l'architecture soignée des stations, elle passe notamment par un auvent en toile ten-

due pour une bonne intégration dans le paysage, où l'on trouve des tentes refuges installées pour les pèlerins durant le Hajj.

CONCEPTION ET CONSTRUCTION DES VIADUCS

Le long de la ligne de métro, quelque 4,6 km de voie sur remblais-déblais ▷



6



7

sont à construire. La longueur totale de voie sur viaduc dépassera 17 km, si l'on considère le fait que la voie se dédouble dans la zone de Muzdalifah avec un entraxe de 25 m. La partie aérienne est basée sur plusieurs concepts :

→ Les viaducs en U couvrent plus de 90 % de la partie aérienne. La longueur des travées est comprise entre 15 et 25 m afin de s'adapter aux conditions du site ;

→ Des ouvrages spéciaux ont aussi été conçus pour enjamber les obstacles d'envergure tels que les autoroutes. Quatre ouvrages de ce type ont été identifiés ;

→ Le concept des viaducs en U a été prolongé dans les stations, et une section en U a été spécialement dimensionnée pour supporter le train à l'intérieur des stations.

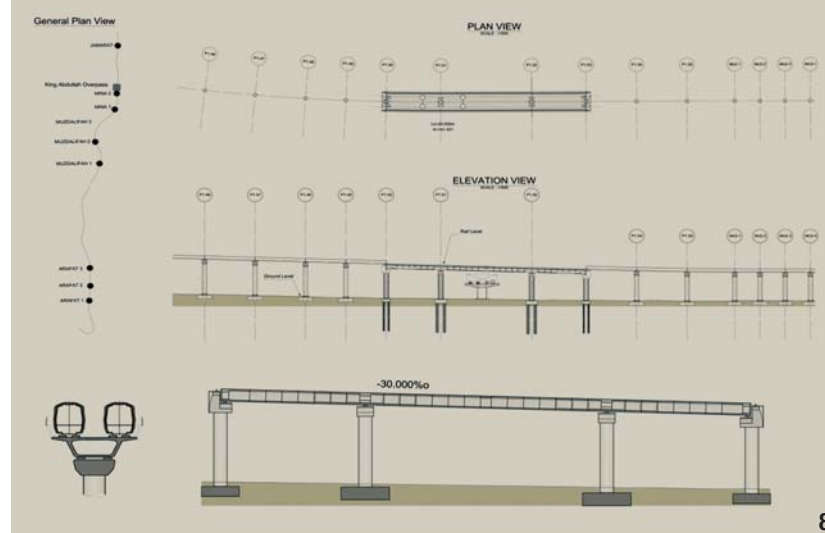
Systra a proposé un concept qui allie une construction rapide et économique d'une part, offre une qualité d'insertion et une identité spécifique au projet d'autre part (figure 2).

TRAVÉE TYPE

Le tablier en forme de U a été considéré comme le plus adapté pour la conception des travées types. En effet, ce concept présente plusieurs avantages : hauteur réduite par rapport à une structure en caisson équivalente, chemin d'évacuation inclus dans la structure et capacité naturelle à accueillir tous les équipements requis (figure 3).

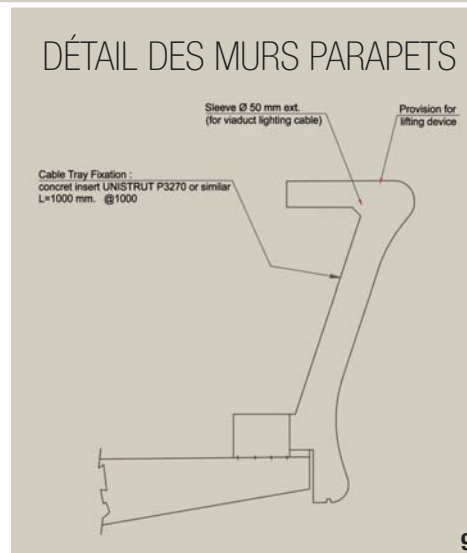
Ces caractéristiques fonctionnelles sont couplées avec les spécificités constructives suivantes : préfabrication de la travée entière (figure 4), précontrainte par torons adhérents, levage possible sur

FRANCHISSEMENT DE L'AUTOROUTE DU ROI ABDULLAH (27-45-27 m) DEUX VOIES, DE HAUTEUR CONSTANTE, CONSTRUCTION PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS



8

site par deux grues de 300 t (photo 5). Plus de 800 poutres en U préfabriquées doivent être réalisées pour le projet. Sur la majorité du tracé, chaque voie est portée par un tablier en U et les deux tabliers reposent sur des piles marteaux. Chaque tablier a été conçu avec un objectif de standardisation du coffrage et du ferrailage (photo 6). Cette standardisation a été développée au maximum pour en tirer un bénéfice économique et limiter le surdimensionnement des structures. Les appuis ont été regroupés en quatre modèles en fonction des conditions de sol et de la hauteur de la pile. En conformité avec les exigences de l'entreprise, Systra



9

6- Préfabrication des cages d'armatures.

7- Aire de préfabrication.

8- Franchissement de l'autoroute du Roi Abdullah (27-45-27m) deux voies, de hauteur constante, construction par encorbellements successifs.

9- Détail des murs parapets.

10- Franchissement du périphérique près d'Arafat 1 (50-70-50 m).

6- Prefabrication of reinforcement cages.

7- Prefabrication area.

8- Crossing over the two-lane King Abdullah motorway (27-45-27m), of constant height, construction by successive cantilevering.

9- Detail of parapet walls.

10- Crossing over the ring road near Arafat 1 (50-70-50 m).



11



13

11- Franchissement du périphérique près d'Arafat 1 (50-70-50 m) deux voies, de hauteur variable, construction sur centre.

12- Franchissement de l'autoroute du Roi Faisal (35-58-35 m).

13- Franchissement de l'autoroute du Roi Faisal (35-58-35 m), deux tabliers séparés à voie unique, hauteur variable, courbe en plan, construction par encorbellements successifs.

11- Crossing over the two-lane ring road near Arafat 1 (50-70-50 m), of variable height, construction on centres.

12- Crossing over King Faisal motorway (35-58-35 m).

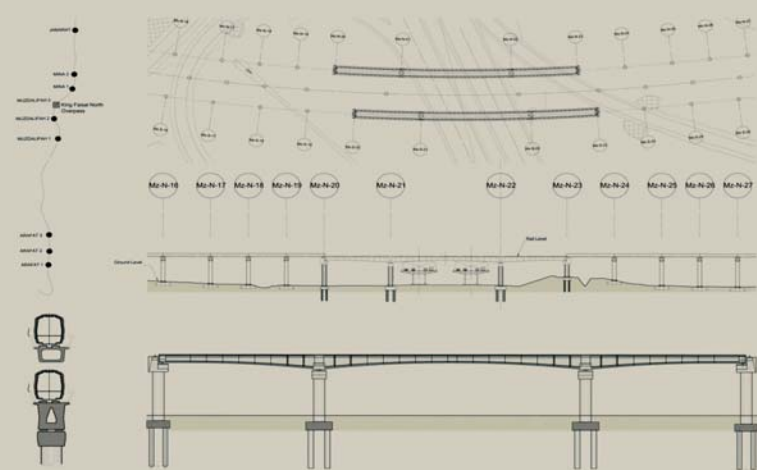
13- Crossing over King Faisal motorway (35-58-35 m), two separate single-lane decks, of variable height, plane curve, construction by successive cantilevering.

FRANCHISSEMENT DU PÉRIPHÉRIQUE PRÈS D'ARAFAT 1 (50-70-50 m)



10

FRANCHISSEMENT DE L'AUTOROUTE DU ROI FAISAL (35-58-35 m)



12

a utilisé deux diamètres de piles pour toutes les hauteurs de pile standard et deux types de chevêtres, selon qu'ils supportent une ou deux voies.

La standardisation et l'optimisation des méthodes de construction ont été développées au maximum dans les détails de conception du tablier. En effet, les viaducs en U sont exclusivement droits, même quand le tracé des voies est courbe. Les plinthes supportant la voie ont été conçues avec une largeur fixe afin d'accélérer le processus de ferrailage sur l'aire de préfabrication et pour éviter tout mauvais positionnement et identification des poutres (photo 7). De même, pour tous les équipements intégrés dans le viaduc (alimentation, signalisation, communication...), une conception évitant toute singularité a été mise au point pour lisser la production des viaducs préfabriqués.

L'étude et la conception du génie civil étaient en avance par rapport aux études système, afin d'éviter toute incohérence entre les deux disciplines. Pour illustrer ces mesures, chaque poutre préfabriquée de 25 m est capable de supporter le poids et la charge apportés par deux poteaux caténaux espacés de 12,5 m et placés au sommet des poutres, même si l'espacement entre deux poteaux est de 50 m pour un tracé rectiligne. Le planning très serré nécessite de prendre ces dispositions au début de la conception.

OUVRAGES SPÉCIAUX

La plupart des obstacles situés le long du tracé sont franchis à l'aide de poutres en U, ou, dans certains cas, à l'aide de portiques supportant des travées ▽



14- Station Arafat 1, vue générale.
15- Station Arafat 1, perspective et élévation.
16- Intégration de l'avent dans le paysage montagneux.
17- La Forêt d'acier, vue de nuit.
18- Vue générale de nuit, passerelle en acier pour pont-route.



14- Arafat 1 Station, general view.
15- Arafat 1 Station, perspective and elevation views.
16- Integration of the canopy into the mountainous landscape.
17- The Steel Forest, view by night.
18- General view by night, steel walkway for road bridge.

types. Cependant, d'autres obstacles ont nécessité des ouvrages spéciaux de grande portée. Des ouvrages à trois travées ont été étudiés principalement lors du franchissement d'axes majeurs autoroutiers :

- 27-45-27 m : franchissement de l'autoroute du Roi Abdullah ;
- 35-58-35 m : franchissement de la portion aérienne de l'autoroute du Roi Faisal. Dans cette zone, les deux voies sont éloignées de plus de 25 m pour des raisons fonctionnelles, et on a donc eu recours à deux ouvrages jumeaux ;
- 50-70-50 m : franchissement de l'autoroute périphérique près de la station d'Arafat.

Les ouvrages spéciaux sont tous des poutres-caissons continus en béton précontraint. Pour l'ouvrage franchissant l'autoroute du Roi Abdullah, la longueur des travées est adaptée à un tablier de hauteur constante. Pour les travées supérieures à 50 m, les tabliers sont des caissons de hauteur variable. La méthodologie de construction dépend du contexte et du planning. En effet, tous les ouvrages ont été conçus pour être construits par encorbellements successifs, sauf l'ouvrage près de la station Arafat 1, conçu pour être coulé sur cintre. Pour assurer une continuité visuelle avec les travées types, chaque tablier est équipé d'un

parapet préfabriqué fixé de chaque côté du hourdis. Ces parapets assurent un chemin d'évacuation et un support pour les poteaux caténaux (figures 8, 9, 10, 12 et photos 11, 13).

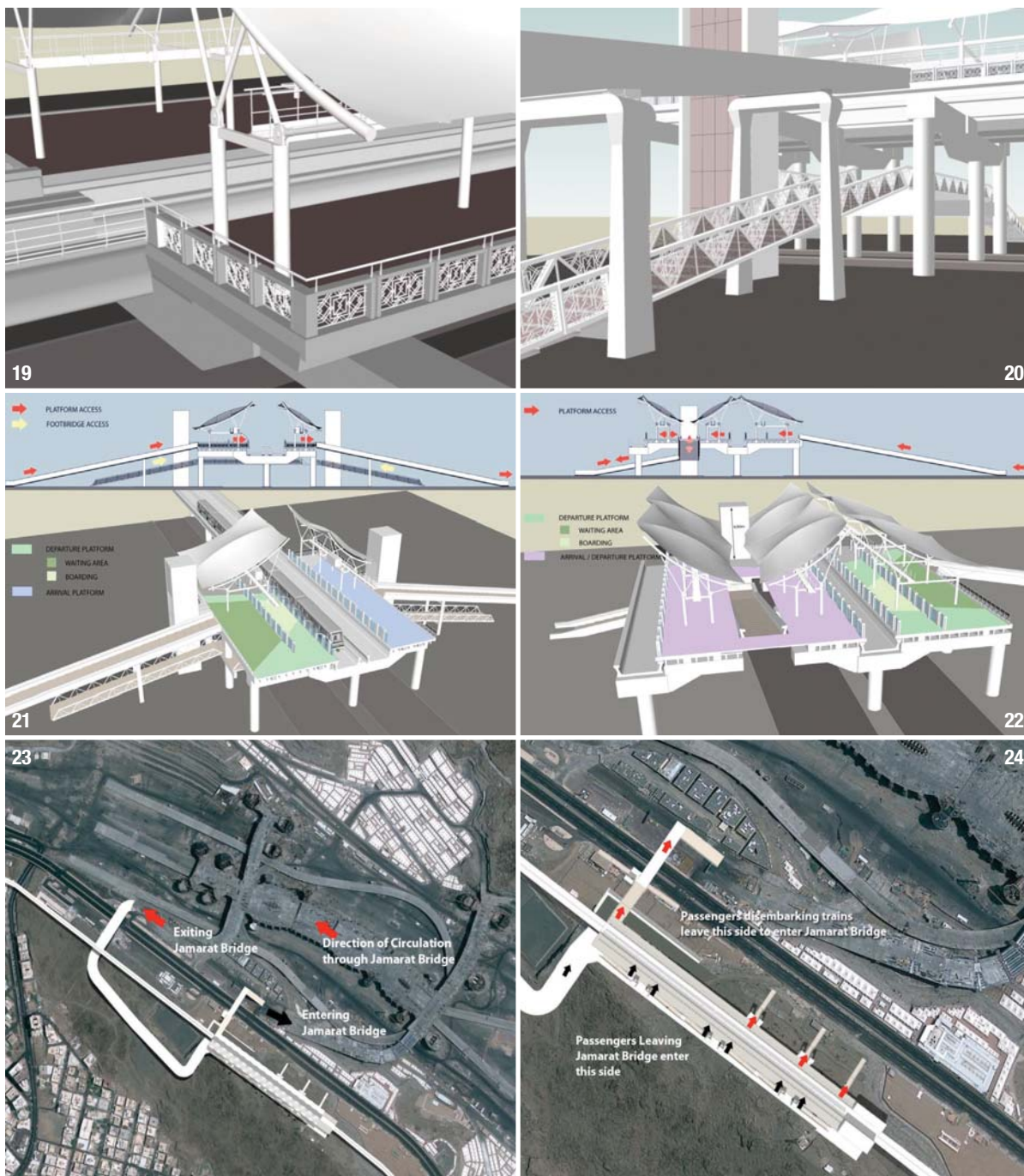
CONCEPTION DES STATIONS

L'alignement compte neuf stations. Elles sont aériennes afin de minimiser la confusion visuelle et l'encombrement des stations dans les lieux saints. Le dimensionnement fonctionnel des stations est basé sur une optimisation des mouvements. Chacune doit être capable d'accueillir 3 000 passagers toutes les 5 minutes, ce qui entraîne des dimensions conséquentes : 337,5 m de

long, dont 300 m de quai (figure 14). L'accès à la plate-forme est assuré par des rampes inspirées de la place du Capitole à Rome pour leur aspect pratique : elles peuvent être empruntées par une population âgée transportant des bagages. Les nez de chaque marche sont en couleur afin d'assurer un contraste. Les rampes sont positionnées perpendiculairement à la plate-forme pour une efficacité fonctionnelle et la réduction de l'impact visuel. Il en existe deux types : les premières en béton, qui permettent aux pèlerins d'accéder directement à la plate-forme, les secondes en acier, permettant de franchir en toute sécurité les routes sous-jacentes

19- Garde-corps des plates-formes.
 20- Garde-corps des passerelles métalliques.
 21- Stations Arafat et Mina.
 22- Station Muzdalifah.
 23- Station Jamarat, mouvements d'accès au pont.
 24- Station Jamarat, mouvements de départ et d'arrivée.

19- Track formation guard rails.
 20- Guard rails for steel walkways.
 21- Arafat and Mina Stations.
 22- Muzdalifah Station.
 23- Jamarat Station, bridge access movements.
 24- Jamarat Station, departure and arrival movements.



aux stations (figure 15). La forme de l'avent a été conçue pour s'intégrer au terrain montagneux. Le choix repose sur des formes organiques et des courbes douces afin de respecter l'environnement et d'éviter les dépôts de sable (figure 16). Les matériaux composant l'avent ont été choisis pour leur durabilité sous ce climat parfois rude et leur capacité de recyclage. L'avent en textile à base de fibres de verre protège des rayons du soleil et donne aux stations un aspect distinctif qui s'harmonise avec les tentes des pèlerins. Les éléments de la structure métallique donnent une forme élégante et légère, comparable à la structure d'une forêt et se ramifiant à

partir des colonnes. Le choix d'ouvrir le toit vers le milieu permet une ventilation naturelle et libre (figure 17).

FINITIONS DE LA PLATE-FORME

Les revêtements retenus pour les différentes parties des stations, comprenant la surface de la plate-forme, les ascenseurs et les marches, sont en granit local afin d'obtenir un aspect naturel. Pour assurer une identité commune à toutes les stations, les garde-corps ont un motif unique, inspiré de l'art musulman (figures 18, 19 et 20).

Les deux plates-formes des stations Arafat et Mina ont des rôles fonctionnels distincts. La plate-forme d'arrivée est

une bande de circulation libre avec un accès direct aux rampes de sortie.

La plate-forme de départ est constituée d'une zone d'attente et d'une zone d'embarquement. La zone d'attente est dimensionnée pour accueillir 3 000 pèlerins qui attendent pour passer vers la zone d'embarquement. Cette dernière est aussi dimensionnée pour accueillir les 3 000 pèlerins venant de la zone d'attente et qui vont embarquer dans le train. Ces deux zones sont parallèles et sur le même niveau pour une meilleure sécurité et efficacité fonctionnelle. Les plates-formes sont aussi équipées d'escaliers de secours, conformément aux réglementations en vigueur.

Les évacuations sont renforcées par une batterie d'ascenseurs capables de transporter 50 pèlerins par voyage. L'ensemble permet d'obtenir une fonctionnalité optimale pendant les phases de service et en cas d'évacuation d'urgence (figure 21).

Pour servir au mieux les pèlerins et apporter une réponse complète en terme d'opération, une configuration avec plate-forme centrale a été adoptée à la station Muzdalifah. Avec cette disposition, le train de la voie nord aura la possibilité de faire monter et descendre les gens en même temps (figure 22). La station Jamarat, terminus de cette phase du projet, est une station spécifique ▷



25a & 25b-
Poutres
préfabriquées
des plates-
formes.
26a & 26b-
Éléments
préfabriqués
installés sur
les chevêtres
coulés en place.
27a & 27b-
Phases
de construction
des travées.

25a & 25b-
Prefabricated
beams for track
formations.
26a & 26b-
Prefabricated
members
installed on
the cast-in-situ
crossbeams.
27a & 27b- Span
construction
phases.

étant donnée sa connexion avec le pont de Jammarat. En effet, cette station se connecte directement à la structure accueillant les piétons et leur permettant d'assurer le rituel de la « lapidation du diable » en toute sécurité. Entre la station et le quatrième étage du pont de Jammarat, une boucle est mise en place qui permet aux pèlerins d'accéder

directement de la station au pont et d'y revenir (figures 23 et 24). Pour les stations, la préfabrication a été largement utilisée. Les poutres en π sont des éléments préfabriqués de 12,5 m de long qui supportent la dalle coulée en place en s'appuyant sur les chevêtres. Elles sont réalisées sur une aire de préfabrication mise en place

pour le projet. Pour supporter l'avent, certaines sont de section rectangulaire (photos 25 et 26).

UN OUVRAGE MARQUANT

Une attention particulière a été apportée à la conception de la ligne de métro pour faire face à un planning très serré. La standardisation couplée à la préfabri-

cation ont permis de relever le défi qui consistait à réaliser les études, depuis l'étude de faisabilité jusqu'à l'étude d'exécution, en huit mois. Le résultat est une ligne de métro fonctionnelle, esthétiquement agréable, assurant les besoins du pèlerinage tout en s'intégrant au style local et offrant un ouvrage marquant à cette région sacrée. □

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE MECCA UNDERGROUND RAILWAY IN SAUDI ARABIA

AYMEN CHEIKH MHAMED, SYSTRA - HABIB ZAINALABIDIEN, DECOM, MOMRA, KSA - PHILIPPE MOINE, SYSTRA - MOHAMMAD KASHANI, SYSTRA - MAURICE STACK, SYSTRA

The Mecca underground railway, 18 km long and serving nine stations, must be able to receive an exceptional flow of passengers at the time of the pilgrimage. To meet this challenge on schedule, priority was given to construction techniques involving standardisation and prefabrication, while paying special attention to aesthetic aspects so that the stations are perfectly integrated into the landscape. □

CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE LA MECA EN ARABIA SAUDITA

AYMEN CHEIKH MHAMED, SYSTRA - HABIB ZAINALABIDIEN, DECOM, MOMRA, KSA - PHILIPPE MOINE, SYSTRA - MOHAMMAD KASHANI, SYSTRA - MAURICE STACK, SYSTRA

Sobre una longitud de 18 kilómetros y asegurando el servicio entre nueve estaciones, el metro de La Meca debe poder acoger un flujo de pasajeros extraordinario en el momento de la peregrinación. Con objeto de aceptar este desafío según los plazos impartidos, la construcción ha privilegiado diversas soluciones de normalización y de prefabricación, aportando siempre un particular cuidado en cuanto a la dimensión estética par que las estaciones se integran perfectamente en el paisaje. □

MÉTRO DE BARCELONE : INSTRUMENTATION ET AUSCULTATION PENDANT LES TRAVAUX DE LA LIGNE 9

AUTEURS : MARTIN BETH, DIRECTEUR TECHNIQUE SOLDATA GROUP - SÉBASTIEN BRAGUE, DIRECTEUR SOLDATA IBERIA.
ARTICLE ÉCRIT AVEC L'ACCORD ET L'ASSISTANCE DE HENNING SCHWARTZ, ING. C. C. Y P., JEFE OFI. AUSC. Y GEOTECN. DE LINEA 9, GISA,
SUR LA BASE DE SES PUBLICATIONS EN LANGUE ESPAGNOLE

AVEC 52 STATIONS À CONSTRUIRE SUR UNE LONGUEUR DE 48 KM, LA FUTURE LIGNE 9 DU MÉTRO DE BARCELONE REPRÉSENTE UN VÉRITABLE DÉFI POUR LES TUNNELIERS, D'AUTANT QUE LES TRAVAUX SE DÉROULENT DANS DES SOLS COMPLEXES ET SOUS UNE ZONE D'HABITATION PARTICULIÈREMENT DENSE. LES PROBLÉMATIQUES LIÉES À L'INSTRUMENTATION ET À L'AUSCULTATION, DONT LE BUT PREMIER CONSISTE À ASSURER LA SÉCURITÉ DES RIVERAINS, JOUENT DONC UN RÔLE ESSENTIEL DANS CE CHANTIER. LA MISE EN PLACE DU SYSTÈME CYCLOPS ET DU LOGICIEL GEOSCOPE A PERMIS DE RÉPONDRE EFFICACEMENT À CES EXIGENCES.



DES SOLS COMPLEXES

La future ligne 9 du métro de Barcelone s'étend sur une longueur de 48 km, dont une grande partie sous zone urbaine, avec une densité de population élevée. Les tunnels sont forés au tunnelier pour la très grande majorité du tracé, avec une répartition

assez équilibrée entre deux diamètres d'excavation : 12 m et 9,40 m. Cinquante-deux stations sont également à construire. Le sous-sol de Barcelone se caractérise par la grande variété des matériaux qui le composent, en plus de la soudaineté avec laquelle se manifestent les changements de lithologie.

Ces caractéristiques en font un défi pour les tunneliers.

La construction est réalisée avec cinq tunneliers, dont quatre, conçus pour excaver les sols, sont de type EPB (earth pressure balance), permettant de limiter au maximum les tassements superficiels, tandis que le cinquième permet, au

choix, l'excavation en mode ouvert pendant la traversée de matériaux rocheux, ou le mode EPB lors du creusement de matériaux moins stables.

TRAVAUX SOUS HABITAT DENSE

Les travaux étant réalisés avec des tunneliers de gros diamètre par plusieurs ►



1

groupements d'entreprises indépendants, dans des sols changeants et sous un habitat dense, il était nécessaire de pouvoir contrôler en temps réel les conditions de construction et ses conséquences. Au vu de la longueur du chantier à surveiller, et pour éviter toute divergence de méthode et de qualité des mesures, Gisa (société catalane de gestion d'infrastructures et maître d'ouvrage délégué) a décidé d'attribuer la surveillance des différents tronçons à une seule entreprise. Celle-ci est chargée de mener à bien tant l'installation des instruments que l'acquisition des données d'auscultation, en les présentant de façon unifiée pour tous les tronçons. L'ensemble des travaux d'installation et de suivi de l'instrumentation est donc directement géré par Gisa, qui a ainsi pu réaliser l'appel d'offres selon ses propres critères, sélectionner l'entreprise sur la base de paramètres qualité, et non seulement financiers, et enfin contrôler le groupement Auscultation au jour le jour.

Le contrat Instrumentation et Auscultation a pour mission de contrôler de manière intensive les effets potentiels sur les structures en surface afin de garantir que l'avancée du chantier ne présente aucun risque pour les riverains. Le but principal est la prévention. À ce titre, il a également pour mission de surveiller les altérations de l'état de tension et de déformation du terrain environnant, ainsi que les variations éventuelles du niveau phréatique. Parallèlement, il est nécessaire de surveiller les sollicitations auxquelles est

soumis le soutènement du tunnel, ainsi que la réponse des voussoirs en béton qui le composent aux effets induits par la charge du terrain et les forces de poussée des tunneliers.

ASSURER LA SÉCURITÉ

Le système mis en place est avant tout destiné à assurer la sécurité des riverains et du chantier, avec un suivi automatisé et centralisé des paramètres du tunnelier, des mouvements du bâti et des sols, des pressions interstitielles et des pressions s'appliquant sur le

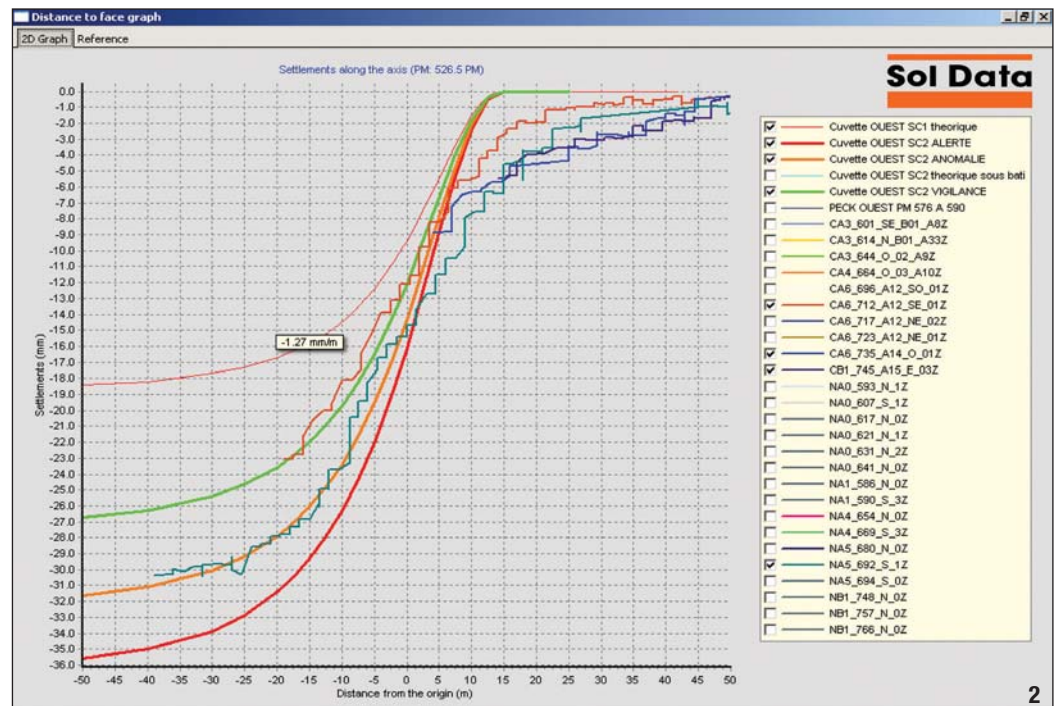
soutènement du tunnel. On contrôle de manière intensive les effets potentiels sur les structures en surface, on surveille les déformations du terrain et les variations éventuelles du niveau phréatique, et on vérifie les sollicitations auxquelles est soumis le soutènement du tunnel et la réponse des voussoirs.

MINIMISER L'IMPACT DES TRAVAUX

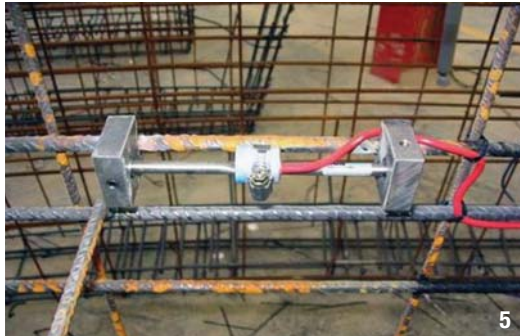
Ce système a également pour but de minimiser l'impact des travaux afin d'améliorer les méthodes de travail

- 1- Tracé de la ligne 9.
- 2- Courbes de Peck.
- 3 & 4- Système Cyclops.
- 5 & 6- Instrumentation dans voussoir.

- 1- Route of line No. 9.
- 2- Peck curves.
- 3 & 4- Cyclops system.
- 5 & 6- Instrumentation in segment.



2



grâce au retour d'information de l'instrumentation. La meilleure manière de prévenir les problèmes étant de contrôler les travaux à la base, le système de mesure doit aider à optimiser les méthodes de travail. Par exemple, un travail important a été effectué sur les injections de bourrage depuis le tunnel, et des méthodes et formules de contrôle ont été mises au point grâce aux mesures des pressions au contact sol-tunnel et aux mesures de tassement en temps réel (qui permettent de différencier les mouvements liés au creusement et ceux liés à des défauts de bourrage).

Le système offre aussi la possibilité de prévoir les déformations futures, les mesures automatisées permettant de tracer des courbes en fonction de la distance au front (figure 2), qui permettent à leur tour d'estimer les tassements à venir. Pour les zones où les prévisions mènent à des risques d'endommagement importants, on peut prévoir des mesures préventives telles que des soutènements, des micro-pieux, des injections de jet grouting, de compensation, etc. Enfin, le système est destiné à améliorer la connaissance des caractéristiques du terrain.

Les données de surveillance obtenues à titre d'essai dans les zones moins urbanisées sont également utilisées pour affiner la connaissance des paramètres géotechniques de la lithologie traversée. À partir du profil géologique, complété par les carottes issues des forages nécessaires pour l'installation des instruments géotechniques, et de l'analyse des actions et réactions enregistrées, on ajuste par rétro-analyse les paramètres du terrain, de manière à ce que sa réponse théorique se rapproche le plus possible de la réponse observée par les dispositifs d'auscultation.

TOPOGRAPHIE AUTOMATISÉE

En raison de la densité des constructions à la surface du tracé des tunnels et de la vitesse d'avancée des tunneliers dans des conditions normales, il est parfois impossible de procéder au contrôle des mouvements des bâtiments par de l'instrumentation manuelle, qui permet tout au plus l'acquisition, le traitement et l'informatisation de deux relevés par jour.

Les caractéristiques intrinsèques du chantier préconisent l'utilisation de théodolites automatiques programmables, installés sur les toits des immeubles.

Ceux-ci effectuent des acquisitions toutes les demi-heures environ, sur une série de cibles de référence situées sur des immeubles dans une zone pouvant atteindre 50 m de chaque côté du tunnel. La portée de ces théodolites est d'environ 100 m. Grâce à un calcul mathématique d'autopositionnement, une précision proche du demi-millimètre peut être obtenue dans des conditions atmosphériques favorables.

Pour la surveillance de la construction, SolData utilise son système breveté Cyclops (photos 3 et 4), permettant de partager en temps réel les cibles de référence entre les théodolites et de calculer les mouvements de toutes les cibles grâce à un calcul global aux moindres carrés. Cette méthode est indispensable à l'obtention de hautes précisions en zone urbaine dense, quand chaque théodolite pris individuellement ne peut se recalculer sur assez de zones stables autour de lui. Ces théodolites fonctionnent en mode continu et envoient automatiquement des valeurs à la base de données d'auscultation. Ces valeurs sont ensuite traitées pour obtenir les mouvements en X, Y et Z (en coordonnées UTM) de chacune des cibles de référence installées sur les immeubles.

REVÊTEMENT DU TUNNEL

Afin de suivre l'évolution des charges sur le soutènement du tunnel et la réponse de ce dernier, certains anneaux de voussoirs ont été équipés des instruments suivants :

- Cellules de pression totale à corde vibrante, installées à la surface extradoss de chacun des voussoirs de l'anneau, pour le monitoring des pressions agissant sur le soutènement ;

- Extensomètres à corde vibrante fixés en des points représentatifs de l'armature pour obtenir des données de déformation interne de celle-ci ;

- Lecture, à l'aide de stations totales robotisées, de cibles fixées sur l'intrados du tunnel, afin d'obtenir des données sur les déplacements relatifs entre voussoirs et, jusqu'à un certain point, évaluer l'ovalisation de ceux-ci (photos 5 et 6).

Il faut noter qu'à l'heure actuelle, ces résultats sont assez difficiles à analyser, les mesures reflétant sans doute des conditions trop locales.

TERRAIN SOUS-JACENT AU TUNNEL

Le volume du terrain attenant au tunnel et celui compris entre le tunnel et la surface constituent le second niveau d'auscultation.

Le contrôle des déformations provoquées s'effectue par l'utilisation d'extensomètres pour la mesure des déformations verticales et par l'installation d'inclinomètres pour la mesure des déformations horizontales parallèles et perpendiculaires au tracé du tunnel. Le contrôle de l'évolution des possibles variations du niveau phréatique lors du passage du tunnelier est réalisé grâce à l'utilisation de piézomètres ouverts. Dans les zones peu perméables présentant des réductions de la vitesse de dissipation des pressions interstitielles, on préférera l'utilisation de colonnes composées d'un à trois piézomètres à corde vibrante.

BASE DE DONNÉES

Les données obtenues par les différentes acquisitions effectuées sur l'instrumentation mise en place sont insérées quotidiennement dans une base de données contenant toutes les valeurs depuis le début du chantier.

La visualisation de ces données s'effectue par le biais du logiciel Geoscope. Cette application est également installée sur les ordinateurs des responsables de la direction de l'auscultation, ainsi que sur les terminaux de tous les intervenants : sur ordre de Gisa, toutes les entreprises de génie civil, tous les maîtres ▽

d'œuvre, experts, ainsi que l'université de Catalogne ont obligation de se connecter à Geoscope et de rendre un reporting précis de leur suivi.

Le logiciel permet de diviser le chantier en zones, en fonction des besoins.

Ces zones sont affichées à l'écran sous forme de plans sur lesquels sont distribués les éléments d'auscultation avec la valeur de la dernière acquisition effectuée (photo 7).

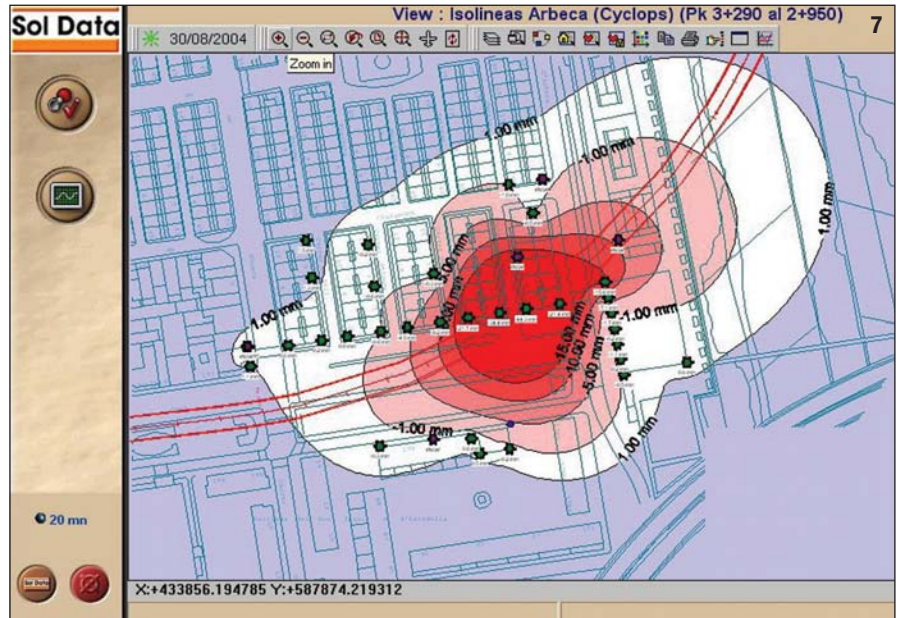
Geoscope permet également de visualiser l'historique des graphes des valeurs de chaque élément en sélectionnant celui-ci à l'aide du curseur. Après avoir sélectionné les données, les valeurs sont transférées sur l'ordinateur de l'utilisateur via Internet depuis la base de données du groupement Instrumentation et Auscultations Auscult9 UTE. Les éléments d'auscultation référencés étant associés à un espace donné, Geoscope peut pratiquement être considéré comme un système d'information géographique (SIG).

Les données issues de l'exploitation du système d'auscultation sont observées en continu par les équipes de surveillance de la direction des travaux et de la maîtrise d'œuvre, ainsi que par les responsables des tunneliers et les ingénieurs de service. Pour analyser les mouvements du terrain causés par le passage des tunneliers, les données de surveillance relatives aux déformations permettent une visualisation graphique selon trois critères : la distance au front d'excavation, la position le long du tracé ou la distance à l'axe, puisqu'il s'agit de points alignés le long d'une section transversale du tunnel.

Ainsi, on peut évaluer les paramètres relatifs à l'avancée de l'excavation tels que le volume de tassement, la géo-

7- Visualisation en temps réel sur Geoscope.

7- Real-time viewing on Geoscope.



métrie des tassements, l'origine du tassement maximum, la relation entre les tassements et les injections dans le bouclier, le temps de stabilisation, etc. Il faut noter que le logiciel est adapté aux demandes particulières de chaque chantier. Il est donc en constante évolution, les améliorations apportées à chaque chantier bénéficiant aux chantiers futurs. À ce jour, la base de données de Barcelone L9 contient environ un milliard de valeurs et 150 000 points de mesure, pour un volume de 90 gigabytes de données.

CONTRÔLE DES MESURES

La mise en place d'un contrat global d'auscultation directement sous la responsabilité du maître d'ouvrage délégué a permis un contrôle total sur les méthodologies et la qualité de

la mesure. Le système d'auscultation implique étroitement toutes les parties intervenant sur le chantier (client, maîtres d'œuvre et directions de chantier) dans les mécanismes de contrôle de l'exécution. L'utilisation d'instruments de topographie automatisée (Cyclops) permet un suivi spatio-temporel très détaillé du déroulement du chantier. La quantité de données manipulées a entraîné la mise en place d'une base de données de grosse capacité. Un étalonnage entre les paramètres de l'excavation et les résultats obtenus par le système d'auscultation a pu être effectué.

Le contrat Auscultation remplit donc son objectif premier : travailler en amont pour prévenir les éventuelles difficultés et contribuer à éviter les problèmes pour les riverains. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Ifercat (Infrastructures
ferovail de Catalonia)

**MAÎTRE D'OUVRAGE
DÉLÉGUÉ :** Gisa

**ENTREPRISES GÉNÉRALES
ET MAÎTRISE D'ŒUVRE :**

**Le chantier est découpé
en 8 lots de génie civil et
6 lots de maîtrise d'œuvre.
Groupement lot Instrumentation
et Auscultation : groupement
Auscul9 composé de SolData,
Tecinco et IIC**

ABSTRACT

BARCELONA UNDERGROUND RAILWAY: INSTRUMENTATION AND MONITORING DURING WORKS ON LINE NO. 9

MARTIN BETH, SOLDATA GROUP - SÉBASTIEN BRAGUE, SOLDATA IBERIA - HENNING SCHWARTZ, ING. C. C. Y P., JEFE OFI. AUSC. Y GEOTECN. DE LINEA 9, GISA

With 52 stations to be built over a distance of 48 km, the future line No. 9 of Barcelona underground railway represents a real challenge for tunnellers, especially since the works are carried out in complex soils and under an extremely dense residential area. Issues related to instrumentation and monitoring, primarily to ensure the safety of nearby residents, therefore play an essential role in this project. The use of the Cyclops system and Geoscope software provided an efficient answer to these needs. □

METRO DE BARCELONA: INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN DURANTE LOS TRABAJOS DE LA LÍNEA 9

MARTIN BETH, SOLDATA GROUP - SÉBASTIEN BRAGUE, SOLDATA IBERIA - HENNING SCHWARTZ, ING. C. C. Y P., JEFE OFI. AUSC. Y GEOTECN. DE LINEA 9, GISA

Con 52 estaciones a construir sobre una longitud de 48 kilómetros, la futura línea 9 del metro de Barcelona representa un verdadero desafío para las tuneladoras, más aún cuando los trabajos se desarrollan en suelos complejos y en una zona de habitación particularmente densa. Las problemáticas relacionadas con la instrumentación y la auscultación, cuyo primer objetivo consiste en garantizar la seguridad de los habitantes, desempeña entonces un papel primordial en esta obra. La puesta en aplicación del sistema Cyclops y del software Geoscope ha permitido responder con toda eficacia a estas exigencias. □

REPRISE EN SOUS-ŒUVRE DE LA LIGNE DE MÉTRO N°1 AU WORLD TRADE CENTER À NEW YORK

AUTEURS : RICHARD CROCKFORD, NICHOLSON CONSTRUCTION COMPANY, SOLETANCHE BACHY - JOHN LIZZO, PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY - JOHN WISE, NICHOLSON CONSTRUCTION COMPANY, SOLETANCHE BACHY



1- Emprise
au sol du World
Trade Center.

1- Area
occupied
by the World
Trade Center.

LES EXIGENCES SOUTERRAINES LIÉES AU PROGRAMME DU COMPLEXE WORLD TRADE CENTER ET À LA STATION FERROVIAIRE PATH À PROXIMITÉ NÉCESSITENT UN ESPACE SOUTERRAIN ACCRU. LE SOUS-SOL A DONC ÉTÉ ÉTENDU EN SUPERFICIE ET EN PROFONDEUR, JUSQU'À ATTEINDRE L'ASSISE ROCHEUSE, MAIS IL ÉTAIT ÉGALEMENT DEvenu NÉCESSAIRE DE DÉVELOPPER L'ESPACE SOUS LA STRUCTURE DE LA LIGNE N°1 DU MÉTRO SOUTERRAIN. LA REPRISE EN SOUS-ŒUVRE DE CETTE LIGNE DE MÉTRO PERMETTRA DE RELIER LES SOUS-SOLS EST ET OUEST, ET D'AUGMENTER AINSI L'ESPACE SOUS LA STRUCTURE DE LA LIGNE.



POURQUOI REPRENDRE EN SOUS-ŒUVRE LA LIGNE 1

Le World Trade Center (WTC) est situé dans la partie Ouest de Manhattan, dans la ville de New York, à environ 800 m au Nord de Wall Street ; il appartient et est exploité par la Port Authority of New York and New Jersey (PA). Lors des premières phases du redéveloppement du site du World Trade Center, après les événements du 11 septembre 2001, il a été décidé d'ajouter de nouveaux éléments à l'espace souterrain.

Tout d'abord, une partie mémorial et un espace musée devaient être créés afin de commémorer les événements du 11 septembre 2001.

L'une des caractéristiques clés de cet élément était d'interdire toute construction sur la surface où s'élevaient à l'origine les tours jumelles. À la place, leur emplacement devait être commémoré par deux fontaines.

En raison de l'essor commercial connu par cette zone depuis la construction originale du WTC, un grand nombre d'employés de bureau y circulaient tous les jours, notamment par bus express. Avec la construction de la partie mémorial et de l'espace musée, il était prévu que la zone attire davantage de touristes qu'avant le 11 septembre 2001, dont beaucoup arrivant et repartant par cars. En conséquence, il a été décidé de construire un parking souterrain pour ceux-ci.

Depuis la construction originale du complexe du WTC, suivie par la construction du complexe d'appartements Battery Park City (BPC) de l'autre côté de West St., et avec la conversion d'autres propriétés commerciales en appartements, il s'agit désormais autant d'une zone résidentielle que d'un quartier d'affaires. Afin de satisfaire les besoins en magasins des résidents ainsi que du nombre accru d'employés de bureau et de touristes, il a été décidé de multiplier par cinq l'espace souterrain consacré aux magasins, par rapport à la superficie d'origine.

Ces trois exigences souterraines du programme, ajoutées à la station ferroviaire PATH (Port Authority Trans-Hudson) et aux sous-sols nécessaires pour le complexe, ont fait de l'espace souterrain un enjeu primordial.

Le WTC est coupé du Nord au Sud par Greenwich Street et la ligne de métro n°1 circule sous cette rue. Cependant, le sous-sol Est avait une profondeur correspondant seulement à la moitié de celle du sous-sol Ouest et ne couvrait pas une superficie aussi importante. Les deux sous-sols étaient séparés par la ligne de métro n°1 au niveau du sol, avec trois passages en dessous du métro pour circuler d'un côté à l'autre. En raison de la demande accrue d'espace souterrain, non seulement le sous-sol a été étendu en superficie et en profondeur, jusqu'à atteindre l'assise rocheuse, mais il est également devenu nécessaire de développer l'espace sous la structure de la ligne n°1 du métro. Il a donc été décidé de reprendre en sous-œuvre la structure de la ligne de métro n°1 afin de relier les sous-sols Est et Ouest, et ainsi être en mesure d'augmenter l'espace sous la structure de la ligne.

CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES

Lors de la reprise en sous-œuvre de la structure de la ligne de métro n°1 en vue de créer l'espace situé en dessous, il était nécessaire de connecter les murs du sous-sol Est à ceux du sous-sol Ouest en passant sous la structure. Dans la mesure où il n'était pas possible pour la New York City Transit Authority (NYCTA) de suspendre le fonctionnement de la ligne de métro n°1 pendant la construction des sous-sols, le défi consistait à trouver une méthode permettant de soutenir le métro pendant qu'il restait complètement fonctionnel. Il a donc été décidé d'utiliser des micropieux et la technique de jet grouting. Environ 450 micropieux ont été utilisés pour reprendre la structure de la ligne de métro n°1.

Étant donné que la ligne a été construite comme une structure enterrée, elle est composée de cadres espacés de 2,5 m, sans capacité de reprise d'efforts entre les cadres. Par conséquent, des portiques transversaux avec 3 micropieux (zones sans quai) ou 5 micropieux (zones avec quai) ont été installés, chaque portique en micropieux supportant deux cadres du métro. Une fois le sous-sol excavé jusqu'à l'assise rocheuse, une structure permanente composée de poteaux, de poutres longitudinales et de poutres transversales sera installée. Les micropieux sont ancrés de 2 à 3 m dans le rocher compact. Un programme d'essais a été réalisé avant les travaux afin de confirmer que l'ancrage dans le rocher était suffisant pour reprendre une charge admissible de 250 t. Sous la structure du métro se trouve une couche d'environ 10 à 15 m de limon sableux brun-rouge et une couche de 2 à 3 m de moraines, avant d'atteindre le substratum rocheux. À l'extrémité sud du site, les conditions du terrain étaient plus complexes, avec 8 à 10 m de gravier et de roche altérée au-dessus du substratum. Le niveau d'eau sur le site est de 3 à 5 m au-

dessus du niveau de la voie du métro. Le limon sableux sous la structure du métro est très dur lorsqu'il est sec. Cependant, sous la nappe, comme c'est le cas sur le site du WTC, il est très sensible et coule comme de l'eau. C'est pourquoi un nombre significatif d'instruments a été installé dans la structure de la ligne de métro n°1, afin de surveiller les tassements éventuels provoqués par le forage des micropieux. Afin de connecter les murs des sous-sols Est et Ouest sous la ligne de métro n°1, des massifs d'environ 3 m d'épaisseur ont été construits par jet grouting sous la structure du métro. Ils avaient pour but de fournir un soutènement temporaire du sol et une coupure étanche entre les murs des sous-sols Est et Ouest, et devaient autoriser des terrassements sur 3 m de hauteur afin de permettre la construction d'un mur définitif coulé en place devant ces massifs. Ces derniers ont été renforcés par une série de barres métalliques de diamètre 1 7/8", placées dans les colonnes centrales des massifs de jet grouting, et par des micropieux placés dans les colonnes « avant ». Bien que la Port Authority of New York and

2- Projets existants et envisagés pour le World Trade Center.

3- Élévation du caisson du métro avec micropieux de reprise et massifs de Jet Grouting.

4- Profil type d'un micropieu pour les raccords au tunnel du métro.

2- Existing and planned projects for the World Trade Center.

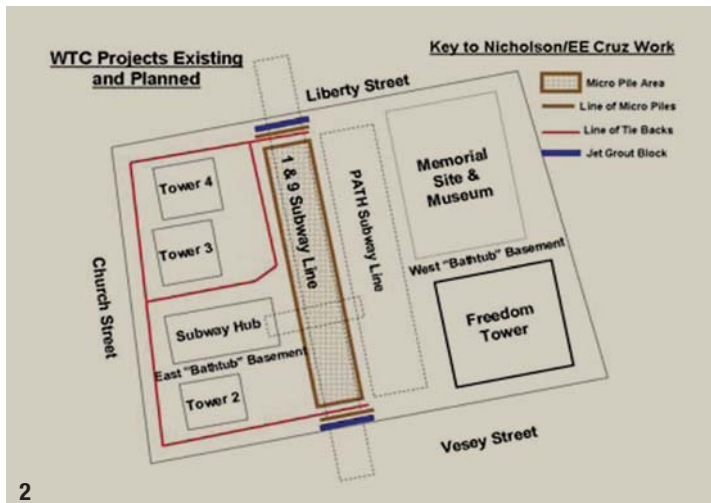
3- Elevated subway box girder supported by micropiles and jet grout blocks.

4- Typical profile of a micropile for connection to the subway tunnel.

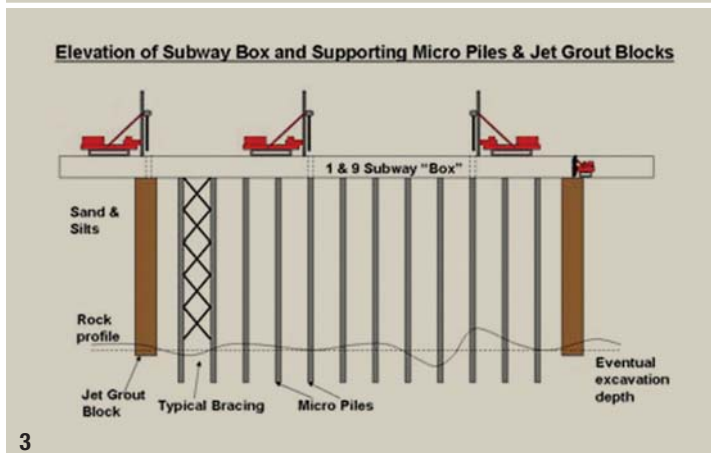
New Jersey ait spécifié des exigences minimales pour les massifs de jet grouting (épaisseur de 3 m, résistance de 50 bars à 28 jours), l'entrepreneur était chargé de définir les paramètres du jet pour le limon sableux ainsi que la couche de moraines afin de respecter ces exigences, sans que la structure du métro ne s'affaisse ou ne se soulève.

CONSTRUCTION DE MICROPIEUX

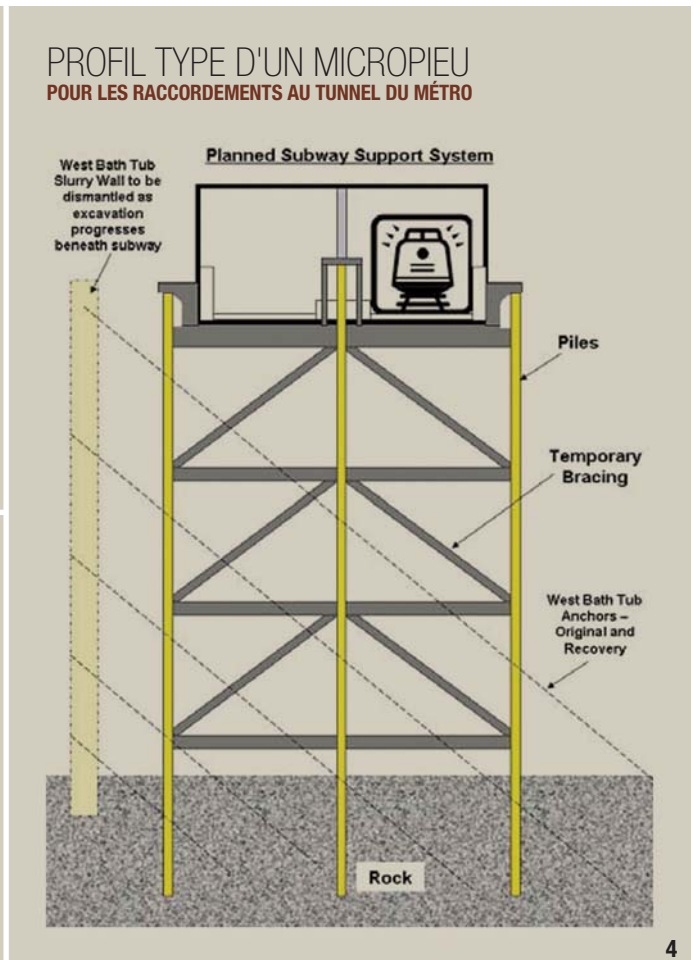
Le design du système de renforcement nécessitait de mettre en place environ les deux tiers des micropieux à travers la structure existante du métro. Afin d'accélérer ce processus, les pieux ont dû être forés alors que les rames de métro continuaient de circuler. Pour cela, des trous de 15" de diamètre ont été carottés à travers le toit du caisson du métro et dans le radier du métro à chaque emplacement de pieu. Puis un tube en acier de 12 3/4" de diamètre a été installé à travers les carottages, offrant ainsi un conduit scellé dans lequel réaliser le forage des micropieux. L'armature des micropieux consistait en un tube, de 10 3/4" x 0,50" de nuance N80 (560 Mpa), foré jusqu'à 6 m de



2



3



4

profondeur dans le substratum rocheux, complété par un forage de 2 à 3 m sous l'extrémité du tubage. L'ensemble était alors renforcé par une barre filetée de diamètre 2 ¼".

Le tubage devait pénétrer à travers le remblai, les limons sableux, les moraines chargées de blocs rocheux et, enfin, s'enfoncer dans le substratum rocheux. Le système de forage OD avec utilisation d'un marteau fond de trou a été choisi pour mettre en place directement les tubes de micropieux depuis le dessus du caisson du métro à travers les fourreaux. Le marteau fond de trou est équipé d'un système d'élargissement qui couvre un diamètre supérieur à celui du tubage, permettant ainsi à ce dernier de passer à travers les blocs pour atteindre la profondeur requise dans la roche. Une fois le tube mis en place, le marteau fond de trou a été remonté. Le forage a ensuite été prolongé de quelques mètres, en roto-percussion de diamètre 9 ¼". Une fois le système de forage retiré du trou, la barre et un flexible ont été descendus à travers le tubage jusqu'au fond du forage. Un coulis de ciment pur a ensuite été mis en place.

5- Forage de micropieux depuis le haut du caisson de la ligne 1 du métro.

6- Pieux excavés et poutres de soutènement installées en attente de raccordement.

7- Disposition des colonnes de jet grouting au niveau de Liberty Street.

8- Procédé de formation des colonnes en deux étapes.

5- Micropile drilling from the top of the box girder of subway line 1.

6- Excavated piles and supporting beams installed pending connection.

7- Arrangement of jet grouting columns at the level of Liberty Street.

8- Process of column formation in two stages.

À l'extrémité sud du site, près de Liberty Street, le profil de la roche présentait une pente. Dans ce « ravin », le toit du substratum rocheux était plus profond (jusqu'à 25 m de plus) et recouvert d'un mélange de roches altérées et de gravier dense. Face à cette caractéristique géologique inattendue, le tubage de micropieu de 10 ¾" a été enfoncé jusqu'à refus. Après quoi, un tubage de 9 5/8" a été télescopé dans le tuyau de 10 ¾" et enfoncé jusqu'à la profondeur finale.

À l'extrémité nord du site, cinq pieux devant se situer le long de la ligne centrale du métro n'ont pas pu être installés depuis le dessus du caisson en raison de la présence d'une poutre qui ne pouvait pas être ni carottée ni retirée. Ces pieux ont été forés pendant les interruptions de service de 53 heures en fin de semaine à partir de l'intérieur du métro, dans un espace d'une hauteur inférieure à 2,5 m, en utilisant une foreuse de hauteur limitée conçue sur mesure. Outils, machines et fournitures ont dû être descendus par une « trappe » découpée dans le toit de la structure du métro. En raison de la hauteur de plafond limitée, le forage a

dû se faire à l'aide de tiges de forage et de tubages de 60 cm de long.

ESSAIS DE JET GROUTING

Il est courant de procéder à des essais pour les projets utilisant la technique du jet grouting. Il faut valider les paramètres choisis pour réaliser les colonnes afin d'être sûr que les critères de diamètre, de résistance et de perméabilité peuvent être respectés.

Les diamètres des colonnes ont été vérifiés de trois manières différentes :

1. Cyljet – Il s'agit d'une méthode géophysique (cylindre électrique) de mesure du diamètre des colonnes.

2. Hydrophones – Il s'agit d'un système de détection des ondes sonores développé par la société GTEC en Belgique.

3. Densité des spoils – Il s'agit d'une mesure de la densité des spoils partant de la théorie du mélange pour déduire le diamètre des colonnes.

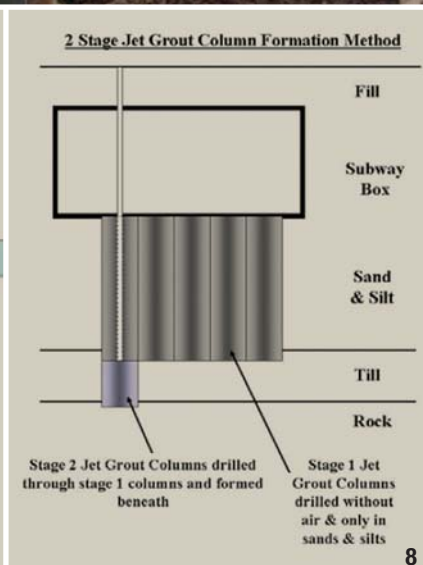
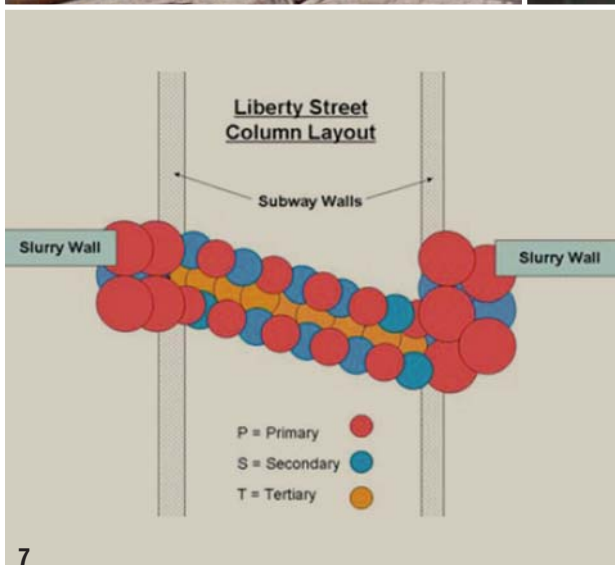
Les trois techniques ont été comparées en détail et il a été estimé que la méthode par Cyljet, bien que techniquement difficile à mettre en œuvre sur le terrain, était la plus précise.

Une indication supplémentaire du diamètre réel a été fournie grâce au carottage effectué pour vérifier la résistance. La résistance des colonnes a été vérifiée en prélevant des échantillons de spoils pour ensuite les écraser après durcissement, et en récupérant des carottes pour faire de même.

Les carottages ont été utilisés afin de tester les critères de perméabilité à respecter. Les résultats ont révélé que l'exigence de 10-7 m/s était respectée.

Afin de créer le massif de jet grouting sous la structure du métro, il était nécessaire de travailler soit depuis l'intérieur de la structure avec un équipement sous hauteur limitée, soit depuis le toit de la structure à travers un fourreau.

La première opération a consisté à réaliser des carottages dans le radier du métro. Cela a nécessité une étude très détaillée de la structure du métro afin de déterminer où placer les colonnes de jet grout pour éviter les obstacles (canalisations multitubulaires, poutres en acier, etc.) tout en réalisant le massif de jet grouting requis. En outre, il s'est avéré que la structure originale du métro était construite avec un béton d'une qualité exceptionnelle qui rendait le carottage très long. Il a donc fallu consacrer à cette préparation plusieurs interruptions de service et de multiples équipes de carottage avant même de pouvoir commencer à réaliser le jet grouting.





La solution de forage depuis le toit de la structure à travers un fourreau avait été privilégiée.

Cependant, il avait été anticipé que ce choix ne pourrait être appliqué pour tous les emplacements, c'est pourquoi une foreuse de petit gabarit a également été utilisée dans le tunnel du métro. Lors de ces essais, un problème important de venue d'eau est immédiatement survenu en raison de la pression hydrostatique sous le radier. Cette méthode a été rapidement abandonnée et un nouvel effort a été fait pour étudier les réseaux présents au-dessus des zones de travail.

Si la zone sous Liberty Street était relativement exempte de tuyauteries, la partie sous Vesey Street présentait une conduite de vapeur, d'un diamètre de 24 pouces, située à l'endroit le plus contraignant possible par rapport à l'emplacement prévu pour les colonnes de jet grouting. Après de longues discussions, Con Edison (la société propriétaire de la conduite de vapeur) a retiré temporairement cette conduite, pour une durée d'environ 3 mois, ce qui a permis la poursuite des travaux depuis le dessus du métro.

Dans la mesure où l'excavation du sous-sol devait atteindre l'assise rocheuse,

il était donc nécessaire de prolonger le massif de jet grouting jusqu'au substratum et en particulier à travers les moraines. Compte tenu des caractéristiques des limons, il était prévu de procéder au tubage des forages.

Cette méthode a rapidement été abandonnée au profit d'une méthode de réalisation des colonnes de jet grouting en deux étapes, pour d'abord stabiliser les sols potentiellement instables, avant de procéder au forage par marteau pneumatique dans les horizons plus compacts.

Cette méthode impliquait d'abord de forer jusqu'au toit des moraines et de réaliser la colonne de jet grouting.

Une fois cette étape réalisée sur la majorité des colonnes dans la zone de travail, le risque d'affaissement du métro lié au forage ou au jetting avait considérablement diminué. La seconde phase de forage et de jetting dans les moraines et le substratum pouvait alors commencer, en reforant les colonnes déjà réalisées.

Avec cette méthode, les tassements ont été négligeables et ont parfaitement respecté les limites imposées par la Metropolitan Transportation Authority. Bien que les contraintes mentionnées précédemment aient été les plus

9- Jet grouting au dessus du métro.

10- Traitement des déblais.

11- Micropieux sous faible hauteur (interruption générale). Tous les éléments ont été introduits et sortis par cette trappe.

9- Jet grouting above the subway.

10- Treatment of earth cuts.

11- Micropiles with low clearance (general interruption). All the elements were entered and removed through this hatch.

significatives, il en existait également d'autres, comme la présence des tirants d'ancrage de la paroi moulée du sous-sol ouest sous Greenwich St., lesquels s'étendaient sous la structure du métro et dont il a fallu tenir compte pour positionner les colonnes de jet.

Il était évident dès le début du projet que la gestion efficace des spoils du jet grouting dans le tunnel du métro serait essentielle au succès global de l'opération. Des plans de secours devaient garantir que le métro ne courrait aucun risque de ne pas être à nouveau fonctionnel chaque lundi matin.

Un temps suffisant a dû être planifié lors des interruptions de service pour procéder au nettoyage final.

Le jet grouting sous Vesey Street a nécessité 8 week-ends d'interruptions de service.

Celui sous Liberty Street, a été achevé en moitié moins de temps.

Bien qu'au début des travaux on ait pu craindre que le jet grouting entraîne un affaissement ou un soulèvement du métro, seuls deux mouvements de quelques millimètres ont été détectés par les dispositifs de surveillance pendant le processus. Les procédures appliquées ont été essentielles pour atteindre ce résultat. □

ABSTRACT

UNDERPINNING OF SUBWAY LINE NO. 1 AT THE WORLD TRADE CENTER IN NEW YORK

RICHARD CROCKFORD, SOLETANCHE BACHY - JOHN LIZZO, PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY - JOHN WISE, SOLETANCHE BACHY

For the World Trade Center programme and the nearby Path Railway Station, the underground space had to be enlarged.

The area and depth of the underground level was therefore extended, down to the foundation rock, but it had also become necessary to extend the space under the structure of underground subway line No. 1.

Underpinning of this subway line will make it possible to connect the East and West underground levels, thereby increasing the space under the line's structure. □

RECALCE DE LA LÍNEA DE METRO N 1 DEL WORLD TRADE CENTER EN NUEVA YORK

RICHARD CROCKFORD, SOLETANCHE BACHY - JOHN LIZZO, PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY - JOHN WISE, SOLETANCHE BACHY

Las exigencias subterráneas vinculadas con el programa del complejo World Trade Center y la estación ferroviaria PATH en las inmediaciones precisan incrementar el espacio subterráneo.

Por consiguiente, se ha ampliado el subsuelo en superficie y en profundidad, hasta alcanzar la base de rocas, pero además, había llegado a ser necesario desarrollar el espacio bajo la estructura de la línea n°1 del metro subterráneo. El recalce de esta línea de metro permitirá poner en comunicación los subsuelos Este y Oeste, y aumentar debidamente el espacio bajo la estructura de la línea. □

CHANTIER ÉCOLE AU LYCÉE PIERRE-CARAMINOT : RÉALISATION D'UNE VOIE D'ACCÈS POUR LES ENGINS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

ARTICLE RÉDIGÉ PAR LES ÉTUDIANTS DE DEUXIÈME ANNÉE, SECTION TECHNICIEN SUPÉRIEUR EN TRAVAUX PUBLICS

LES BÂTIMENTS DU NOUVEL INTERNAT DU LYCÉE PIERRE-CARAMINOT, EN SERVICE DEPUIS LA RENTRÉE 2009, NE RÉPONDAIENT PAS AUX RÈGLES DE SÉCURITÉ INCENDIE. UN CHANTIER ÉCOLE PRIS EN CHARGE PAR LA DEUXIÈME ANNÉE DE LA SECTION TECHNICIEN SUPÉRIEUR EN TRAVAUX PUBLICS A PERMIS LA RÉALISATION D'UNE VOIE D'ACCÈS AUX ENGINS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE. LES ÉTUDES ONT ÉTÉ RÉPARTIES ENTRE LES ÉTUDIANTS, PAR GROUPES DE TROIS. ILS LES ONT RÉALISÉES DURANT UNE CENTAINE D'HEURES, À RAISON DE HUIT HEURES PAR SEMAINE. CETTE PHASE DE PRÉPARATION LEUR A PERMIS D'ABORDER LE CHANTIER SOUS SES ASPECTS TECHNIQUES (PLANS, PHASAGE), MAIS AUSSI ÉCONOMIQUES (DQE, COMMANDES DE MATÉRIAUX). PUIS, PENDANT LES DIX JOURS DE TRAVAUX, LES ÉTUDIANTS SE SONT SUCCÉDÉ POUR TENIR LES RÔLES DE CHEF DE CHANTIER ET DE CHEF D'ÉQUIPE.



QUELQUES CHIFFRES

- 300 m³ de terrassements généraux.
- 5 000 m² de reprofilage de terrain.
- 365 t de pierres 20/40 pour les couches de fondation, de base de la chaussée et les tranchées drainantes.
- 200 m de bordures P1.
- 310 m² de revêtement de chaussée en dalles PEBD.
- 1 500 m² de géotextile pour la protection des remblais divers.
- 140 m de drains routiers en PVC diamètre 150 mm.

UN PROJET SOUTENU PAR LA RÉGION

Pris en charge par la deuxième année de la section technicien supérieur en travaux publics (STS TP), ce chantier concerne la réalisation d'une voie d'accès aux engins de lutte contre l'incendie pour le nouvel internat du lycée Pierre-Caraminot à Egletons, en Corrèze.

La démarche a été initiée à la livraison de l'internat, en septembre 2008 : constatant certains manques dans les travaux des abords du bâtiment, les professeurs de STS TP s'étaient positionnés pour la réalisation de travaux dans le cadre de chantiers écoles.

En mai 2009, les enseignants de TS2 TP sont missionnés pour une étude d'avant-projet sommaire à soumettre à la région et, en juin, l'avant-projet est remis au proviseur qui le transmet à la région Limousin. Fin septembre 2009, la région accorde les crédits de réalisation des travaux. À partir du 1^{er} octobre 2009, les étudiants de TS2 TP sont engagés dans la démarche de chantier école.

ÉTAT DES LIEUX ET ÉTUDES PRÉPARATOIRES

Les photos 1 à 4 mettent en évidence

les premières contraintes d'environnement. La voie se situe au pied d'un bassin versant important. Les travaux neufs réalisés pour le reprofilage du terrain forment un barrage naturel aux eaux de pluie, qui ruissellent et s'accumulent en pied de talus du bâtiment. Le projet devait prendre en compte cet élément déterminant et apporter une réponse technique satisfaisante.

La phase d'études préparatoires s'est déroulée sur deux mois (octobre et novembre 2009). À partir d'un devis quantitatif et estimatif créé par les professeurs, nous avons dû élaborer le CCTP qui détermine les grandes phases du chantier et les conditions de sa sécurité. Le phasage et les modes opératoires des travaux ont été précisés à sa suite. Les étudiants ont été chargés de la conception du projet à travers différentes études préparatoires.

Pour ce faire, la classe a été scindée en plusieurs groupes de travail afin de mener à bien les études dans les délais impartis. Un travail topographique à l'aide d'une station GPS a permis de créer les différents plans prévus pour le chantier : plans des réseaux, d'exécution de la voirie, plan de masse, d'installation de chantier... À partir de

ces plans, nous avons pu élaborer le phasage général des travaux, étape qui permet de savoir ce que chacun des groupes doit exécuter chaque jour. Nous devons aussi planifier les approvisionnements en matériel et matériaux, établir les bons de commande, la location du matériel et les différents documents de contrôle et de suivi des travaux.

PREMIÈRE SEMAINE DE CHANTIER

Lors de notre arrivée sur le chantier, nous avons commencé, à l'aide de nos études préparatoires, par implanter l'axe de la voie, les drains ainsi que les regards (photo 5). Dans le même temps, une équipe se chargeait de l'installation du chantier, comprenant l'implantation au sol de la cabane de chantier, des zones pour le matériel et les matériaux, ainsi que le balisage et la signalisation de la zone de travail. Ensuite a débuté la partie terrassement à l'aide d'engins de chantier. Sur ce terrain sensible à l'eau, la météo peu clémente en début de semaine a rendu les conditions de travail difficiles. Les quantités à purger ont augmenté, ce qui, par la suite, a engendré une modification du planning

prévisionnel. De plus, dès la rencontre de réseaux, les terrassements ont été effectués à la main pour éviter toute dégradation. Une fois le terrassement de masse effectué (photo 6), nous avons pu passer à la réalisation de la tranchée drainante située le long de la voie. Cette tranchée permettra de capter et de recueillir les eaux de la plate-forme. La tranchée a été réalisée à la suite des terrassements tout en conservant la pente requise. Puis vient la pose d'un géotextile constituant l'enveloppe du drain, lui-même calé dans la tranchée avec du matériau 20/40. Parallèlement à l'agencement du drain, une autre équipe était chargée de réaliser la plate-forme pour la voie, qui est aussi constituée d'un matériau drainant (photo 7). Ce matériau a également été placé dans une enveloppe de géotextile. Avant de fermer l'enveloppe, nous avons procédé à un compactage à l'aide d'un compacteur double bille 2,5 t. Pendant ce temps, une équipe était chargée de réaliser le regard servant à collecter l'ensemble des drains, qui reprend les drains de la voie ainsi que deux autres sur le terrain. Les eaux du regard seront évacuées dans un bassin situé à proximité. ▷



Le regard a été réalisé à l'aide d'éléments préfabriqués posés sur un radier en béton maigre. Une fois les éléments assemblés, il a pu être carotté (photo 8) à l'aide d'une carotteuse et de cloches de 200 mm de diamètre.

L'équipe s'est ensuite attelée à la réalisation de l'évacuation vers le bassin. Celle-ci a été réalisée en tuyaux PVC CR8 de diamètre 200. La canalisation a respecté une pente de 2 % contrôlée avec un tachéomètre. Une fois la canalisation posée et recouverte avec du sable de tranchée, nous avons pu procéder à la pose d'une tête de pont et au remblayage compacté par couches. En fin de semaine, pour assainir le terrain, une équipe pourvue de deux mini-pelles a reprofilé le terrain. Pour finir, le chantier et les engins ont été rangés et nettoyés avant de passer le relai au deuxième groupe.

DEUXIÈME SEMAINE

Lorsque le deuxième groupe prend possession des lieux, les terrassements sont pratiquement terminés, les drains sont posés et opérationnels. La semaine 2 consiste à réaliser les phases de pose des bordures, réga-

lages, compactages, pose de dalles PEBD. Nous avons commencé par vérifier l'implantation des bordures des zones 1 et 2. Après avoir contrôlé l'altimétrie de la couche de forme et l'implantation des bordures, le chef de chantier donne l'ordre au chauffeur du camion de 3,5 t d'approvisionner le chantier en béton (ce camion peut transporter 0,5 m³ par voyage). Pour la pose de bordures, deux équipes de trois personnes avançaient en parallèle. Chaque équipe comprenait un poseur et deux réglers (photo 9). L'approvisionnement en béton était assuré par deux personnes. Les contrôles d'altimétrie et de planimétrie étaient constants durant la pose. Une fois ceux-ci validés, une équipe réalisait les joints des bordures. Durant la fin de la pose, une équipe a pu réaliser la couche de forme en zones 2 et 3. Celle-ci est régagée à l'aide d'un mini-chargeur et répartie également à la force des bras.

Le compactage est assuré par un mini-compacteur double bille ainsi que par plaque vibrante pour les extrémités de la voie. Bien sûr, de multiples contrôles ont été réalisés afin de s'assurer d'une parfaite portance et planimétrie

(essai de plaque). Cette tâche permet la continuation de la pose de bordures en zones 2 et 3 suivant le même mode de réalisation qu'en zone 1. La zone 3 était difficile du fait de sa géométrie, composée de trois arcs de cercle. Pour les réaliser, il a fallu couper les bordures en deux afin d'obtenir un bon aspect visuel. Durant cette période, une équipe a été affectée à la mise en place d'un remblai fertile que l'on pourrait assimiler à un sandwich (photo 2). En premier lieu, une fine couche de 20/40 non compactée est disposée le long de la zone 1. Sur cette couche, on écarte de la terre permettant de remplir les vides. La dernière phase consiste à remettre une couche de 20/40 compactée. Cette opération est répétée une seconde fois. Une fois la zone 1 terminée, un élève aidé d'une mini-pelle était chargé du reprofilage des talus et du réaménagement des espaces verts (photo 3). En parallèle, la zone 4 est réalisée (couche de forme et pose de bordures). L'opération de remblai fertile doit être terminée en zones 2, 3 et 4 pour permettre la mise en place de la couche de réglage en zone 1. Celle-ci est composée d'un mélange de terre végétale et de

sable (50 % de terre, 50 % de sable). Le mélange a été réalisé par tractopelle sur la zone tampon mise à disposition par une entreprise locale. Pour la mise en œuvre de cette dernière, des gabarits bois ont été confectionnés par une équipe en atelier. Le guide était utilisable pour les zones droites (soit les zones 1, 2, 4 - photo 1). En revanche, pour la zone 3, nous avons dû utiliser des plots en planches, et il a fallu régler à la règle (photo 4). La couche terminée, la pose de dalles peut débuter. La voie permet, en largeur, de disposer trois dalles complètes de 1 m chacune. Cette tâche ressemble à la construction d'un puzzle géant. Le souci principal a été rencontré dans la zone 3, qui correspond au carrefour avec les découpes de dalles et aux raccordements des zones 1, 2 et 4. La méthode de réalisation est assez simple dans le principe, mais peut se révéler complexe dans la mise en pratique. D'abord, les dalles sont assemblées sur le côté, puis elles sont mises en place sur la voie pour être compactées. On fonctionne par trois dalles en longueur, et seulement les deux premières sont compactées. L'opération est à répéter tout au long de la voie.



6



7

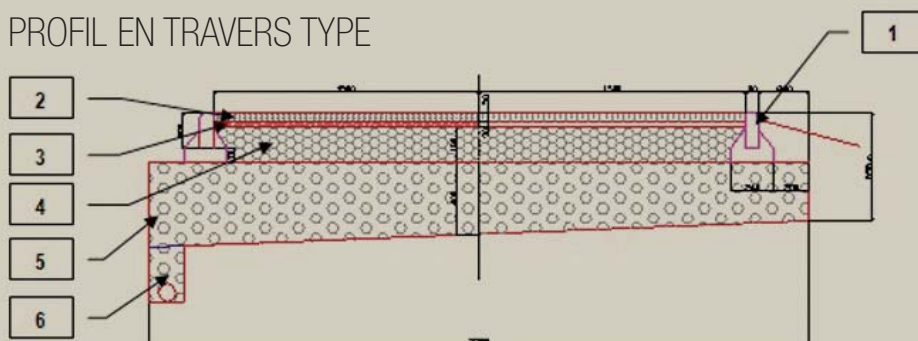


8



9

PROFIL EN TRAVERS TYPE



| Repère | Désignations | Epaisseur |
|--------|---|--|
| 1 | Bordure béton de type P1 | Ep.: 80mm. Hauteur : 200mm. Longueur : 1000mm. |
| 2 | Dalles en P.E.B.D. de type ECORASTER références ERE 50 ou équivalent. | Alvéoles de 60x60mm. Hauteur : 50mm. Dimensions 330x330mm. |
| 3 | Lit de pose composé d'un mélange de 50% de compost de déchets verts + 50% de sable roulé. | Epaisseur compactée finie : 30mm. |
| 4 | Interface fertile composé d'un mélange de 70% de concassé de carrière 30/60 et de 30% de terre végétale amendée (terre arable souple additionnée de 30% de compost de déchets verts). Compactage > 50mPa. | Epaisseur compactée finie : 190mm. |
| 5 | Fondation drainante composée de pierres cassées 30/60 enveloppée dans un géotextile de type BIDIM S32 non tissé (125g/m2). | Epaisseur compactée finie : 400mm. |
| 6 | Tranchée drainante comprenant un drain routier de diamètre 100mm avec remplissage complémentaire de pierres cassées 30/60 enveloppées dans un géotextile de type BIDIM S32 non tissé (125g/m2). | Section de la tranchée : 400x400mm. |

10

LE CHANTIER ÉCOLE, C'EST AUSSI

- Un chantier de conception-réalisation.
- 240 heures d'ingénierie en phase études de conception.
- 1 200 heures en phase d'exécution des travaux.
- Un chantier de 42 000 euros réalisé en deux semaines, soit 10 jours ouvrés.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
Conseil régional du Limousin
MAÎTRE D'ŒUVRE :
Étudiants de deuxième année
BTS2 TP, section technicien
supérieur en travaux publics
du lycée Pierre-Caraminot

Fournisseurs

BORDURES : Gédimat
BÉTON BORDURES : Bredèche
DALLES : Société Ecovégétale

BILAN EN FIN DE TRAVAUX

Ce chantier a été bénéfique dans plusieurs domaines. La méthode d'enseignement nous a permis non seulement d'apprendre notre futur métier de responsable de chantier, mais aussi de nous construire et d'affirmer notre personnalité (les relations humaines se révèlent naturellement lors d'un chantier école). Par ailleurs, le système constructif proposé est plus respectueux de l'environnement dans la mesure où la couche de roulement habituellement

réalisée en enrobés de bitume ou en béton est remplacée par une couche végétale naturelle. Sa mise en œuvre ne nécessite pas d'engin lourd ou spécialisé comme un finisseur. Ce chantier nous a aussi permis d'atteindre des objectifs propres à notre formation de STS TP tels que la production de documents exploitables sur le chantier, la planification des travaux, la mise en pratique des essais laboratoire sur le chantier (essai de plaques), le dévelop-

pement de connaissances techniques. Du point de vue financier, l'enveloppe de 42 000 euros qui nous a été accordée par la région Limousin a été suffisante, nous avons même pu dégager un bénéfice de 6 000 euros. Enfin, le chantier devait être réalisé en deux semaines, et le défi a été relevé. Pour cela, nous n'avons pas compté nos heures de travail. En effet, nous commençons à 8 h pour terminer à 18 h 30. La motivation a donc été un élément primordial dans

la réussite du chantier. Ainsi que l'ont constaté MM. Buron et Traen, enseignants en génie civil, « les étudiants ont fait preuve d'autonomie, d'initiative et de compétence. Il y avait une bonne ambiance de travail, les chefs désignés ont pu accomplir leurs missions sans contestation. Cette expérience positive devrait renforcer la cohésion et la motivation du groupe. Il reste que certaines méthodologies restent à encadrer pour assurer la qualité des travaux ». □

ABSTRACT

SCHOOL PROJECT AT PIERRE-CARAMINOT HIGH SCHOOL: EXECUTION OF AN ACCESS ROAD FOR FIRE FIGHTING VEHICLES

ARTICLE WRITTEN BY SECOND-YEAR STUDENTS, SENIOR PUBLIC WORKS TECHNICIAN SECTION

The buildings of the new boarding hostel of Pierre-Caraminot high school, operational since the post-holiday resumption in 2009, did not meet fire safety rules. A school project taken charge of by second-year students in the senior public works technician section allowed the execution of an access road for fire fighting vehicles. The design work was distributed among the students, in groups of three. It was carried out in about one hundred hours, at a rate of eight hours per week. This preparation phase enabled them to study the technical aspects of the project (drawings, scheduling), but also economic aspects (priced BOQ, materials ordering). Then, during the ten days of works, the students relayed one another in the roles of site manager and foreman. □

OBRA ESCUELA EN EL LICEO PIERRE-CARAMINOT: EJECUCIÓN DE UNA VÍA DE ACCESO PARA LOS VEHÍCULOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

ARTÍCULO REDACTADO POR LOS ESTUDIANTES DE SEGUNDO AÑO, SECCIÓN TÉCNICO SUPERIOR EN OBRAS PÚBLICAS

Los edificios del nuevo internado del liceo Pierre-Caraminot, en servicio desde la vuelta de 2009, no correspondía a las reglas de seguridad contra incendios. Una obra escuela a cargo de los estudiantes de segundo año de la sección técnico superior en obras públicas ha permitido la ejecución de una vía de acceso para los vehículos de lucha contra incendios. Los estudios fueron repartidos entre los estudiantes, por grupos de tres. Los estudios fueron llevados a cabo durante un centenar de horas, a razón de ocho horas por semana. Esta etapa de preparación ha permitido a los estudiantes abordar la obra bajo sus aspectos técnicos (planes, planificación), así como también económicos (DQE, encargos de materiales). Después, durante los diez días de trabajos, los estudiantes se han sucedido para ocupar los puestos de jefe de obra y de jefe de equipo. □