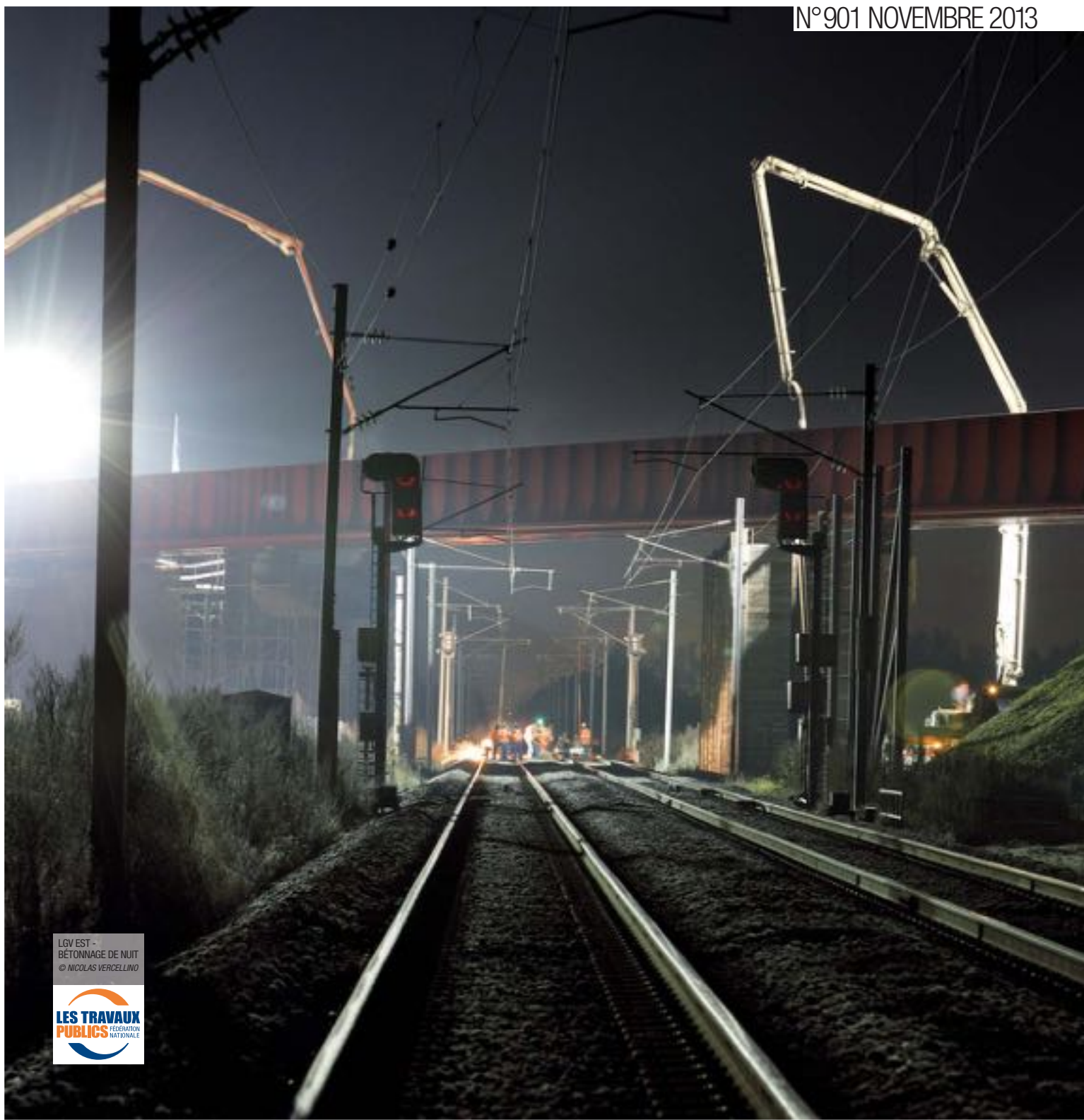


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRANSPORTS ROUTES & TERRASSEMENTS. LGV EST : 17,5 KM SIGNES RAZEL-BEC. PROJET LGV BPL : TERRASSEMENTS. A36 MONTBELIARD : ELARGISSEMENT AUTOROUTIERS. MODERNISATION DU BARRAGE DE VILLENEUVE-SUR-YONNE. AUTOROUTE A71 PS 82/12 : REMPLACEMENT D'UNE PILE D'UN PASSAGE SUPERIEUR. LGV SEA : VIADUCS A VOUSOIRS PREFABRIQUES. LE TRAMWAY DE VALENCIENNES LIGNE 2. TRESORS DE NOS ARCHIVES : L'ACHEVEMENT DE L'AUTOROUTE DE L'OUEST

N°901 NOVEMBRE 2013



LGV EST -
BÉTONNAGE DE NUIT
© NICOLAS VERCELLINO



Directeur de la publication
Bruno Cavagné**Directeur délégué**
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : morgenthalerm@fntp.fr**Comité de rédaction**
Hélène Abel (Ingérop), Jean-Bernard
Datry (Setec), Philippe Gotteland
(Fnfp), Laurent Guilbaud (Saipem),
Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imbert
(Razel-Bec), Claude Le Quééré (Egis),
Louis Marracci (Bouygues TP),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Jacques Robert (Arcadis), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Michel Morgenthaler (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro**
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copemic - 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.frFrance (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**
Emmanuelle Hammaoui
9, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41
Email : ehammaoui@fnfp.fr**Site internet** : www.revue-travaux.com**Réalisation et impression**
Com'1 évidence
Immeuble Louis Vuitton
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50
Email : contact@com1evidence.comLa 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°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

« NE NOUS PRIVONS PAS DE NOS SAVOIR-FAIRE. »



© DR

Ce numéro « **Transports, routes et terrassements** » de TRAVAUX est à apprécier à l'aune des recommandations de la Commission Mobilité 21, remises le 27 juin dernier au ministre chargé des transports, de la mer et de la pêche, et des annonces qui en ont résulté, faites le 9 juillet par le Premier ministre.

Les articles qu'il propose constituent une remarquable illustration tant des savoir-faire actuels des entreprises françaises en matière de grands travaux d'infrastructures que des interdépendances, entrelacements et complémentarités des différents types de réseaux et modes de transport qu'ils supportent.

Sur les savoir-faire relatifs aux grands projets, la question est clairement posée aujourd'hui : que sera notre capacité à les maintenir, la seule ligne LGV Bordeaux-Toulouse ne pouvant y suffire. C'est à terme la place des entreprises françaises de travaux publics sur les marchés internationaux qui est en jeu, la compétitivité à l'exportation ne pouvant être assurée que sur des marchés domestiques suffisamment dynamiques. Qualité, compétence et solidarité des équipes sont les facteurs clés du succès des grands chantiers. Une fois dissoutes, leur reconstitution sera extrêmement longue et difficile.

Or nul ne peut imaginer que nous soyons au terme des grands aménagements. Qu'il s'agisse de la création des réseaux de distribution des énergies renouvelables, de l'adaptation des territoires aux conséquences de phénomènes

climatiques de plus en plus violents⁽¹⁾, de la transformation ou de la rénovation de pans entiers de nos villes, des chantiers de grande ampleur et de grande complexité sont à notre portée, pour lesquels aucune visibilité ne nous est donnée.

L'interconnexion des infrastructures de mobilité est au cœur du rapport de la Commission Mobilité 21, qui, rappelant l'évidence, redonne toute sa place à la route, principal mode de transports (plus de 80% des transports de biens ou de personnes...). C'est souvent la seule réponse pratique pour la desserte des territoires peu denses et pour les trajets terminaux.

L'efficacité du système de transport français dépend pour une large part de l'état de son réseau routier, et notamment du million de kilomètres de routes départementales et communales (qui supportent les deux tiers du trafic routier, le tiers restant l'étant par les 20 000 km d'autoroutes et de routes nationales). C'est au problème de la régénération de l'ensemble de ce réseau routier secondaire que nous sommes confrontés : il est d'une toute autre ampleur que celui de la régénération ferroviaire, qui pourtant n'est pas mince...

Les Grands Travaux sont une formidable école, de rigueur, d'anticipation, d'innovation, de gestion ; les Partenariats Publics Privés y participent : ils conduisent les entreprises à prendre en charge l'entretien et la maintenance des infrastructures qu'elles ont réalisées. Ne nous privons surtout pas des savoir-faire qu'elles ont ainsi acquis, pour bâtir un cadre technique, juridique, contractuel et financier innovant, qui pourra être mis au service de la régénération des réseaux existants tout en optimisant les ressources publiques allouées, dont on sait qu'elles seront de toute façon insuffisantes...

1- N'est-il pas encore temps de se protéger des conséquences catastrophiques de la prochaine crue centennale de la Seine à Paris ? Et d'investir les 500 millions d'euros susceptibles d'éviter de 20 à 40 milliards d'euros de dégâts ?

JEAN-LOUIS MARCHAND
PRÉSIDENT DE L'USIRF
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION
DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA FNTP

IFSTTAR IMAGINER AUJOURD'HUI LE TRANSPORT SUR LES ROUTES DE DEMAIN

L'ACTION DE L'IFSTTAR SE SITUE AU CŒUR DE L'ÉVOLUTION DE NOS SOCIÉTÉS ESSENTIELLEMENT URBAINES. SA RECHERCHE CONSISTE À OBSERVER ET EXPÉRIMENTER, ANALYSER ET MODÉLISER POUR COMPRENDRE ET INNOVER. SES DOMAINES D'INTERVENTION SONT DONC EXTRÊMEMENT VASTES : ILS COMPORTENT NOTAMMENT LES SYSTÈMES ET MOYENS DE TRANSPORT ET LEUR SÉCURITÉ, ASPECTS QUE MET PLUS PARTICULIÈREMENT EN ÉVIDENCE SA DIRECTRICE GÉNÉRALE HÉLÈNE JACQUOT-GUIMBAL.

ENTRETIEN AVEC HÉLÈNE JACQUOT-GUIMBAL, DIRECTRICE GÉNÉRALE DE L'IFSTTAR (INSTITUT FRANÇAIS DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DES TRANSPORTS DE L'AMÉNAGEMENT ET DES RÉSEAUX). PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© IFSTTAR

1

L'acronyme d'IFSTTAR n'est pas encore très familier.

Que recouvre-t-il et quelles ont été les raisons de sa création ?

L'IFSTTAR est né le 1^{er} janvier 2011 de la fusion entre le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) et l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité).

Schématiquement, l'INRETS avait pour vocation de s'intéresser aux conditions de circulation de ce que l'on peut appeler les « mobiles » sur les infrastructures - c'est-à-dire les voitures et les camions - ainsi qu'à l'ensemble des paramètres qu'ils génèrent tant en ce qui concerne la sécurité, que la pollution, le bruit, les automatisations

de conduite, le passage à l'électrique... mais aussi les trains et les métros ainsi que les aménagements urbains, routiers et portuaires.

De son côté, le LCPC travaillait essentiellement sur l'ensemble des questions liées au génie civil.

Ainsi, l'INRETS avait pour vocation la sécurité routière vue des véhicules et du comportement humain tandis que le LCPC était concerné par la sécurité vue de l'infrastructure.

Ces deux sujets paraissent différents mais, ayant en vue que dans une vingtaine d'années de nouvelles technologies seront intégrées dans les routes et dans les véhicules, il était logique de se doter d'un instrument plus optimisé pour



© IFSTTAR

2



© IFSTTAR

3

aborder l'ensemble des problèmes concernés par les infrastructures et les véhicules qui les empruntent, qu'il s'agisse d'automobile, de train ou de métro.

En réalité, l'idée de fusion entre les deux établissements n'était pas nouvelle : elle remontait à une quinzaine d'années à telle enseigne qu'ils avaient le même président de conseil d'administration, le même président de conseil scientifique, les mêmes tutelles administratives.

Et le 1^{er} janvier 2011, l'Ifsttar est apparu, telle Athena sortant du crâne de Zeus, avec, derrière lui, une histoire longue de plus de 50 ans.

Dans les cinq départements de l'Ifsttar, certains sont hérités de l'INRETS et du LCPC mais deux sont directement le résultat de la fusion LCPC/INRETS. Les trois premiers s'intéressent aux ouvrages d'art et aux chaussées, c'est-à-dire aux structures de génie civil en général, à la géotechnique des risques, à la sécurité routière des transports.

À l'intérieur des deux établissements, certains chercheurs s'occupaient déjà de capteurs de mesures et de simulation : ils ont été réunis dans un nouveau département spécialement dédié à cette activité dont l'un des objectifs est de développer de nouvelles méthodes et techniques de pilotage des infrastructures, de transmission des informations, par exemple dans les tunnels.

Le cinquième est consacré aux questions d'aménagements et de ville. Il mélange des sciences pour l'ingénieur et des sciences humaines et sociales. Et travaille, à l'instar des autres départements, en collaboration avec les IEED (Institut d'Excellence d'Énergies Décarbonées) et les IRT

LES 4 DÉFIS DE L'IFSTTAR

L'action de l'Ifsttar se situe au cœur de l'évolution de nos sociétés essentiellement urbaines. Sa recherche consiste à observer et expérimenter, analyser et modéliser pour comprendre et innover.

Pour y parvenir, il est organisé en 5 départements pour relever 4 défis :

- **Inventer la mobilité durable ;**
- **Adapter les infrastructures ;**
- **Maîtriser les risques naturels et nos impacts environnementaux ;**
- **Penser et aménager les villes et territoires.**

(Institut de Recherches Technologiques).

Ces organismes, à partir de crédits d'incitation portés par l'État, associent des laboratoires universitaires et des industriels pour avancer sur des sujets communs.

1- Hélène Jacquot-Guimbal, directrice générale de l'Ifsttar.

2- L'une des missions de l'Ifsttar : imaginer les transports sur la route de demain.

3- La route expérimentale de Saint-Aubin-Lès-Elbeuf.

4- Principe de démontage de la chaussée urbaine expérimentale.

5- L'Ifsttar participe à Railenium, l'institut de recherche technologique dédié à l'infrastructure ferroviaire.

Nous participons ainsi à Railenium, l'institut de recherche technologique dédié à l'infrastructure ferroviaire (IRT).

Notre structure en départements nous permet de répondre plus facilement à des questions externes puisque nos laboratoires, précédemment éclatés, sont désormais regroupés et peuvent examiner des sujets communs de façon plus directe.

L'ensemble des personnels de l'Ifsttar a-t-il été regroupé dans le nouveau siège de Champs-sur-Marne dans la ville nouvelle de Marne-le-Vallée ?

Sur les quelques 1 260 agents que compte notre institut, un peu plus de 460 sont basés à Champs-sur-Marne, les 800 autres étant répartis dans les implantations que nous avons à Lyon-Bron, Nantes, Versailles-Satory, Villeneuve d'Asq, Salon de Provence/Marseille ainsi qu'à Belfort et Champs-sur-Marne.

Nous avons également des laboratoires communs avec des hôpitaux qui fabriquent, par exemple, des modèles humains créés en 3D par

informatique pour simuler des crashes, avec des possibilités infiniment plus étendues que celles offertes par les mannequins traditionnels.

Les traumatologues qui travaillent sur ces modèles peuvent leur intégrer des paramètres beaucoup plus complets et mettre par exemple en évidence des traumatismes internes qui n'apparaissent pas visuellement sur le corps de la victime d'un accident mais peuvent être tout aussi graves, voire vitaux.

Depuis la création de l'Ifsttar, quelles sont les actions les plus significatives qui ont été engagées dans le domaine de la route et des transports ?

Nous avons transformé et fait évoluer plusieurs sujets qui étaient présents dans les recherches du LCPC et de l'INRETS dont l'un concerne précisément la route, dont nous pensions qu'il était nécessaire de changer l'image.

C'est ainsi que l'Ifsttar s'est engagé à tracer la « voie du futur » avec la route de 5^e génération.

Les professionnels savent ce qu'il s'est passé dans ce secteur depuis les 50 dernières années, c'est-à-dire pendant une période où il était encore possible d'utiliser des matériaux de très bonne qualité pour répondre aux impératifs d'exploitation en toutes saisons, notamment en période hivernale.

Aujourd'hui, les moyens sont plus limités et impliquent que les matériaux nobles soient préservés.

On s'efforce donc, dans le cas de création de route nouvelle, d'utiliser au maximum les matériaux en place, moyennant des traitements appropriés. ▷

© IFSTTAR



© IFSTTAR



Pourquoi la route de 5^e génération ?

Pour retracer très schématiquement les grandes étapes qu'a connues la route à travers son histoire, on peut évoquer le chemin muletier de la 1^{re} génération, tracé par le passage des animaux, la route romaine de 2^e génération, pavée, qui permet d'avancer quelles que soit les conditions climatiques, mais qui n'est pas très confortable, la route en macadam au 19^e siècle de 3^e génération, qui est à la fois dure et résistante, permettant de circuler avec des charges beaucoup plus lourdes, la 4^e génération étant celle des autoroutes, pour aller vite et loin, avec des liaisons essentiellement interurbaines, et enfin celle de 5^e génération dont nous pensons qu'elle se développera plutôt en ville ou à sa périphérie avec, peut-être, un impact interurbain à terme.

Résolument tournée vers l'avenir, cette route de 5^e génération - baptisée R5G - se veut automatisée, sûre et durable et adaptée aux besoins de déplacement. Elle offre un niveau de service complètement différent. La plupart des innovations qui la composent sont arrivées à maturité : la R5G permet une communication et un échange d'énergie avec son infrastructure, le véhicule et le gestionnaire du réseau. Elle est constituée de matériaux recyclables capables de s'autodiagnostiquer et de s'autoréparer ; elle demeure en permanence dans un état optimal malgré les variations climatiques.

De plus, dans la pratique, elle est réparable facilement parce qu'ouvrable et refermable dans la même journée ; les travaux exécutés pour son entretien sont sans bruit et sans poussière. Nous achevons les tests d'une route

expérimentale à Saint-Aubin-Lès-Elbeuf, en Seine Maritime. Cette route est constituée de grands pavés hexagonaux assurant une bonne répartition des charges, offrant une surface plate et qui présentent l'avantage de pouvoir être déplacés facilement, avec une mini-pelle, pour assurer l'entretien des réseaux, eux-mêmes logés dans une tranchée dont la couverture offre une résistance suffisante pour tenir ses parois mais ne nécessite pas le recours à un marteau piqueur pour y accéder. Cette conception permet un entretien et une réparation de façon très rapide, sans laisser de trace, quasiment sans nuisances sonores et sans poussières.

Par ailleurs, la forme hexagonale des pavés réduit de façon considérable les bruits de roulement lors du passage des véhicules.

Néanmoins, tous les problèmes concernant la R5G ne sont pas encore résolus car son intégration à l'échelle industrielle à des coûts mesurés demeure encore un vrai défi.

Tracer la « voie du futur » engage-t-il d'autres démarches ?

Nous avons étendu le concept de route de 5^e génération à d'autres types de services. Que faut-il faire pour que la route soit acceptable par les riverains ? L'exemple que je viens d'évoquer constitue l'un des coefficients d'acceptabilité.

En zone périurbaine, où la route est souvent bordée de fossés, on peut imaginer des micro-capteurs de pollution qui laissent passer l'eau mais retiennent et stockent les particules polluantes sur des nappes superposées de géosynthétiques que l'on décolle au fur et à mesure de leur saturation en polluants.

Vous évoquiez précédemment, à propos de la route de 5^e génération, sa faculté de communication et d'échange. Comment cela peut-il se traduire dans la pratique ?

S'il est possible d'installer dans la chaussée des capteurs qui suivent sa vie, on peut aussi imaginer que l'on se serve du véhicule et de ses équipements - téléphone portable, par exemple - pour recueillir des informations sur son état : si le passage des véhicules provoque systématiquement un « bump » sur le téléphone, cela signifiera qu'il y a à un endroit précis

un problème sur la chaussée et ceci peut se faire de façon absolument anonyme. Pour certains types de suivi de réseaux, il peut s'avérer intéressant de placer des capteurs lors de leur enfouissement tout comme il peut être efficace d'utiliser les véhicules pour signaler la formation des nids de poule.

Demain, les véhicules seront donc de plus en plus automatisés et connectés. Dans un contexte où l'on disposera de moins de matériau, de moins d'énergie et de moins de crédits, comment définir les infrastructures à réaliser pour y faire circuler des véhicules ?

Deux mouvements opposés se développent en parallèle : d'un côté, des véhicules plus intelligents ce qui pourrait laisser croire aux gestionnaires routiers qu'ils peuvent se reposer sur cette intelligence pour diminuer leur budget, c'est-à-dire substituer à l'intelligence des routes l'intelligence des véhicules ; de l'autre, les constructeurs automobiles peuvent se reposer sur l'intelligence des routes pour accroître l'intelligence des véhicules.

Si l'on n'y prend pas garde, ces deux mouvements ne vont jamais se rejoindre convenablement.

Dans ce contexte, l'un des enjeux est d'augmenter le niveau d'utilisation des infrastructures actuelles, notamment en proposant de nouveaux services : cela pourrait conduire à définir comment la route peut participer à la transition énergétique des transports. Par exemple, on peut imaginer que la route, demain, soit productrice ou vectrice d'énergie pour les véhicules : productrice pour son propre usage

6- Trois des départements de l'Ifsttar premiers s'intéressent aux ouvrages d'art.

7- Mise en place d'une section Modieslab, une chaussée modulaire silencieuse préfabriquée à partir d'éléments béton, sur l'autoroute A12 aux Pays-Bas près d'Utrecht.

8- Les implantations de l'Ifsttar.

9- Remblai expérimental en argile très plastique A4 sur la RD 438 à proximité de Héricourt.

10- Traitement et compactage du limon dans le cadre du programme TerDOUEST.

© IFSTTAR

6



© IFSTTAR

7



mais aussi participant à l'alimentation des véhicules électriques.

Cette transition est peut-être le point de focalisation commun entre les besoins des constructeurs automobiles et ceux des gestionnaires routiers. Finalement, en travaillant sur l'énergie, on peut se mettre d'accord sur l'automatisation et réfléchir à l'optimisation des matériaux du cycle de vie des infrastructures.

L'un des enjeux du projet « Route 5^e Génération » est de créer les dispositifs qui vont permettre de tester ces solutions en grandeur réelle sur des chantiers innovants. À cette réserve près qu'aujourd'hui, les maîtres d'ouvrage ne peuvent plus prendre financièrement le risque, ce qui a pour conséquence de bloquer partiellement le développement du projet.

Ces tests ont déjà été réalisés en laboratoire. Il nous faut passer du laboratoire au terrain, à une échelle plus conséquente qui permet de mettre en évidence les problèmes résiduels et renouveler les questions de recherche.

La démarche que nous menons à l'Ifsttar dans le cadre du projet R5G est de convaincre ces parties prenantes qu'il y a un enjeu d'innovation, qu'il y a de l'intelligence dans le génie civil et de faire comprendre que l'électronique et l'informatique ne sont pas les seuls à avoir de l'avenir.

Avant la construction de la route proprement dite, il y a les terrassements. L'Ifsttar est-il également concerné par ce secteur ?

Nous n'intervenons pas dans la pratique courante des terrassements, au niveau de la mise en œuvre ou du contrôle. Par contre, nous assis-



L'IFSTTAR EN BREF

NOMBRE TOTAL D'AGENTS : 1 267

RÉPARTITION PAR FILIÈRE :

- Recherche : 63%
- Technique : 18%
- Administratif : 19%

BUDGET 2012 : 120 M€

CHIFFRE D'AFFAIRES CONTRACTUELLES : 17 M€

PROJETS EUROPÉENS : 60

BREVETS DÉPOSÉS ET ACTIFS EN 2012 : 80

SITES ET STRUCTURES DE RECHERCHE :

Belfort, Grenoble, Lyon-Bron, Lille-Villeneuve-d'Ascq, Marne-la-Vallée, Nantes, Nantes, Salon-de-Provence/ Marseille, Versailles-Satory

tons fréquemment nos partenaires en expertise mais plus souvent en recherche, dans l'amélioration de certains concepts, par exemple sur

le traitement des sols, ou sur la réduction de l'arrosage des pistes. L'Ifsttar participe au chantier de la ligne Sud Europe Atlantique, dans

le cadre d'une convention avec RFF - Pays de Loire, afin de valoriser les matériaux avec des techniques de traitement de sol au niveau des couches d'infrastructure situées sous le ballast.

Nous avons effectué un remblai expérimental en argile très plastique A4 sur la RD 438 à proximité de Héricourt, dans la Haute-Saône, dans le cadre du projet TerDOUEST⁽¹⁾, avec la participation de l'entreprise Roger Martin et du Conseil Général.

Pour un grand chantier dans l'Ouest de la France qui se situe dans un secteur où les ressources sur place en matériaux de bonne qualité sont rares et où il est très difficile de les améliorer par des traitements, notre contribution a été de chercher les causes de cette difficulté et de trouver des solutions de compensation qui ont permis de faire avancer les propositions de dimensionnement de la structure, tout en gardant les sols de mauvaise qualité, travail mené en partenariat avec le CETE de l'Ouest. Nous réalisons également, au cas par cas, des expertises en France mais aussi à l'étranger : en Arabie Saoudite, pour des problèmes de remblais en matériaux très sableux qui se comportent comme des dunes, en Algérie pour des travaux relatifs à l'autoroute Est-Ouest...

Autre intervention : l'Ifsttar a posé récemment une instrumentation spécifique sur des pieux de plus de 50 m de longueur, sur le chantier du nouveau terminal pétrolier de Dunkerque.

Ces exemples illustrent quelques uns des atouts principaux de l'Ifsttar. □

1- **TerDOUEST** : Terrassements Durables et Ouvrages En Sols Traités.

© IFSTTAR

9



© IFSTTAR

10





1
© POMA

POMA LES PIEDS DANS LA NEIGE, LA TÊTE DANS LA VILLE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

QUI A DIT QUE LES PME FRANÇAISES S'EXPORTENT MAL ? « POMA », COMME L'APPELLENT LES 880 EMPLOYÉS QUI TRAVAILLENT DANS LES USINES DU GROUPE, VIENT D'INAUGURER UNE NOUVELLE TÉLÉCABINE MULTIX 8 QUI PERMET D'ACCÉDER AU MONT HUASHAN, AU CENTRE DE LA CHINE ; ELLE ACHÈVE LA FABRICATION DE PLUSIEURS APPAREILS POUR LES JEUX OLYMPIQUES DE SOCHI EN 2014, EN RUSSIE, ET VIENT DE DÉMARRER LA CONSTRUCTION DE TÉLÉCABINES/TÉLÉPHÉRIQUES URBAINS EN ALGÉRIE. UN CONTRAT DE 50 MILLIONS D'EUROS. ON POURRAIT MULTIPLIER LES EXEMPLES.

tonnant parcours pour cette entreprise de Voreppe, dans l'Isère, qui s'est imposée depuis sa création voici près de 80 ans aussi bien dans les domaines de la neige et du tourisme que dans ceux des sciences, de l'industrie et des transports urbains sur le marché du transport par câble, dont elle est l'un des leaders mondiaux, présent sur 5 continents.

Qu'il semble loin le premier « tire-fesses » inventé en 1936 à l'Alpe d'Huez par Jean Pomagalski, un immigré polonais. À l'époque, les skieurs devaient sauter sur les perches pour s'asseoir, car la machine ne savait pas ralentir. Pour mieux amortir la prise de perche au démarrage, il imagine un astucieux système de départ progressif. En dépit de ses imperfections, le téléski

1- Les célèbres bulles du téléphérique de Grenoble-Bastille, en France.

de l'Écluse, sur les alpages du village d'Huez, sera la première remontée mécanique d'une longue série à venir.

Jean Pomagalski réfléchit à un système débrayable pour augmenter la vitesse de remontée et éviter que les agrès ne tournent à vide et, toujours en 1936, il met au point une première attache débrayable : l'attache anneau qui donne lieu à un brevet en mars 1937. Mais le système s'avère peu fiable. Jean Pomagalski persévère dans ses recherches et, après un essai infruc-



2
© CIG



3
© DR

tueux de « pince tenaille », il aboutit en 1944 en imaginant l'attache à douille, selon le principe d'un anneau allongé bloqué en ligne par l'effet levier : simple et fiable, ce système est encore utilisé aujourd'hui sur tous les téléskis à perches débrayables.

DES INNOVATIONS COMME S'IL EN NEIGEAIT

Des innovations, dont le nombre est tel qu'il est impossible de toutes les énumérer ici, contribueront par la suite au développement de l'entreprise. Parmi les plus significatives : le télécabine prototype SP3 à demi-coques en composite thermomoulé produites par Sigma Composite pour le compte de Pomagalski en 1966-1967 à ouverture/fermeture d'abord manuelle puis rapidement automatique avec le modèle SP4, pince automatique « S » en 1968 pour les téléskis, télésièges débrayables à 2 places en 1972, cabines Sigma 6 places en 1973. Les appareils SP3 et SP4 marquent le début d'une longue collaboration entre Pomagalski et ses deux sous-traitants devenus filiales : Sacmi⁽¹⁾ et Sigma Composite⁽²⁾. Les années qui suivent marquent l'avènement de défis technologiques, de

2- Le télésiège du Lac, premier appareil équipé de l'attache à douille en 1944.

3- Le télésiège avec gare Baby au Monétier-les-Bains.

4- Le MiniMetro® by Poma de l'aéroport international du Caire, en Égypte.

5- L'APM Hovair Poma-Otis de l'aéroport de Détroit, aux USA.

solutions novatrices, du « toujours plus grand et toujours plus vite » jusqu'à ce que l'entreprise s'intéresse au transport urbain, au marché du funiculaire et à celui des gros porteurs : le téléphérique pulsé de Grenoble en 1976 avec ses célèbres « bulles » identifiant aujourd'hui encore la cité dauphinoise, le « Poma 2000 », le tramway automatique à câble de Laon en 1989 avec de petits véhicules débrayables en gare, en sont des illustrations représentatives. En 2013, l'entreprise inaugure plusieurs appareils d'exception comme la télé-

cabine « 3S » de dernière génération à Avoriaz, en France, ou encore plusieurs installations en Chine comme la vertigineuse télécabine de Huashan. En 2014, Poma sera présent aux XXII^e jeux Olympiques de Sochi en Russie pour transporter les athlètes des épreuves de descente femmes et de saut à ski et inaugurera la Giant Wheel à Las Vegas, aux États-Unis d'Amérique.

PARTOUT DANS LE MONDE

Poma a démontré son savoir-faire et sa maîtrise dans le domaine du transport par câble partout dans le monde. Les multiples solutions et réalisations en matières de transport -télécabine, téléphérique, télésiège, télésiège, MiniMetro®, funiculaire, ascenseur incliné, tramway aérien - lui ont permis de mettre à disposition des usagers le nec plus ultra des technologies d'aujourd'hui et de demain.

Le Groupe est présent dans 73 pays à travers ses filiales ou ses agents commerciaux. Il est actif en Europe occidentale et orientale, en Asie, en Afrique, en Amérique du Nord et du Sud, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Sur le continent nord-américain, les premières structures commerciales datent du début des années 50 et

correspondent aux installations d'un premier télésiège à Sainte Marguerite, au Canada en 1952, puis, dès 1953, à Apahoe Basin et Suicide Six, à Woodstock, aux États-Unis. Par la suite, en 1981, Poma devait créer une filiale nord-américaine - Leitner-Poma of America - à Grand Junction dans le Colorado et ouvrir son premier site de production avec bureaux d'étude et ateliers.

Elle est aujourd'hui l'une des filiales les plus importantes avec Poma Beijing, en Chine, créée en 2007 et avec Baco, en Suisse, dont l'antériorité remonte à 1957. La société possède également des bases importantes au Brésil, en Colombie et en Russie.

RAPPROCHEMENTS ET RATIONALISATION INDUSTRIELLE

Plusieurs rapprochements ont permis à Poma de tisser une toile encore plus serrée sur ses marchés de prédilection : en 1991, l'entreprise rachète le constructeur italien Agudio, bien implanté sur le territoire transalpin ainsi que le savoyard Montagner, jusqu'alors concurrent sur le marché du télésiège à perches. En 1994, c'est Skirail qui a intégré le groupe. ▶



4
© POMA



5



© POMA

Ces opérations sont la conséquence de la morosité que connaît, dans les années 90, l'industrie du ski : le marché des remontées mécaniques arrive désormais à maturité et quelques hivers sans neige freinent les investissements des stations. Les commandes portent désormais principalement sur un renouvellement prudent du parc existant. Ce contexte difficile appelle une restructuration de l'offre.

En Italie, en 1993, Leitner est repris par l'entrepreneur Michael Seeber. Il entame le redressement du constructeur tyrolien mais un problème se pose à lui : le manque de structures et de main d'œuvre disponibles dans cette région d'Italie. Poma, au contraire, dispose au travers de ses filiales, de tous les outils de production nécessaires à la construction de remontées : SACMI pour la métallerie et le matériel débrayable, Sigma pour les cabines et SEMER pour les composants électriques et les automatismes. Toutefois, dans un marché en perte de vitesse, il convient de pouvoir faire travailler toutes les entités de ce groupe déjà grand.

Les problèmes économiques de Leitner et de Poma sont complémentaires : en se rapprochant de Leitner, Poma assure à ses filiales un apport d'acti-

tivité supplémentaire, tandis que Leitner trouve auprès de Poma les structures lui permettant de poursuivre son développement.

Le rapprochement est annoncé officiellement le 31 mai 2000 et, le 7 juin 2000, la société financière STP, créée pour l'occasion par Michael Seeber, acquiert la totalité des actions représentatives du capital de Poma. Les deux groupes sont aujourd'hui rassemblés au sein d'une même holding : HTI BV. Poma profite des synergies avec

6- La télécabine Multix 8 du Mont Huashan, en Chine.

7- La « High Roller » de 168 m de hauteur de Las Vegas, aux États-Unis d'Amérique, la plus grande roue d'observation du monde.

Leitner. Les entreprises développent des gammes similaires et une pince débrayable commune : la pince LPA/Multigrip. Les gares Satellit laissent place aux gares Multix, qui, bien que d'un aspect visuel différent de celui des gares Leitner, reprennent les mêmes éléments de conception modulaire. Sous l'égide de l'Italien Seeber, le groupe français conserve son identité, ses équipes et conduit toujours des projets d'envergure.

60% À L'INTERNATIONAL

La réalisation en 2007 de la télécabine de Vin Pearl, au Vietnam, reliant l'île de Hon Tre à la ville de Nha Trang au dessus la mer de Chine est emblématique du virage pris par la société face à la stagnation des marchés européen et nord-américains. Poma s'oriente vers les marchés asiatiques en pleine expansion : elle porte les effectifs de la filiale chinoise de 15 à 45 personnes et en fait un site d'assemblage à part entière.

L'entreprise peut ainsi optimiser les coûts, le temps de réalisation et proposer des produits compétitifs sur le marché asiatique

En 2012, Poma réalise 60% de son chiffre d'affaires à l'international. Depuis sa création en 1936, l'entre-



© POMA



© POMA
8



9

prise dauphinoise a imaginé, conçu et construit plus de 7 800 installations dans le monde. Chaque jour, ce sont près de 6,5 millions de personnes qui sont transportées dans le monde sur des équipements fabriqués dans ses usines de l'Isère.

DES RÉALISATIONS DIVERSIFIÉES AUTOUR DU « CÂBLE »

Aujourd'hui, même si la neige reste encore son cœur de cible, Poma développe son activité hors des domaines skiabiles et tout particulièrement en matière de transports téléportés urbains.

En effet, la gamme des transports tracés par câble suspendus - télécabine, téléphérique, télésiège, téléski, tramway aérien, voire blondins de chantier... - ou reposant sur coussin d'air - funiculaire, ascenseur incliné, MiniMetro® - se décline en de multiples formes qui ont permis à Poma de s'implanter partout dans le monde, aussi bien sur les grands sites montagneux que dans de nombreuses capitales, ainsi qu'en témoignent quelques grandes réalisations récentes ou qui viennent d'être achevées. Que l'on en juge.

8- Le nouveau téléphérique des Prodains à Morzine-Avoriaz, en France : jusqu'à 2 400 personnes/heure.

9- L'une des réalisations de Poma pour les jeux olympiques d'hiver en 2014 à Sochi, en Russie, dans la station de Rosa Khutor.

10- Poma vient de signer un contrat de 50 M€ pour la construction de télécabine-téléphériques à Tizi Ouzou, en Algérie.

11- La liaison par funiculaire, baptisée « Blanc Blanc », au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives de Grenoble, en France.

LA NEIGE, LA VILLE, LE TOURISME

Du Vanoise Express dans les Alpes, aux pentes enneigées de Sochi en Russie, pour les prochains J.O. d'hiver de 2014, Poma gravit les sommets des massifs montagneux avec des remontées mécaniques à hautes performances, rapides, silencieuses et écologiques.

Qu'il s'agisse de relier une île à une mégapole, de se déplacer sur coussin d'air entre des terminaux d'aéroport, de connecter des quartiers périphériques au centre des métropoles, de survoler un fleuve, de franchir et d'atteindre le sommet d'une colline, de remplacer une route, une ligne de bus, un ferry, Poma installe le transport par câble comme un nouveau mode de déplacement collectif qui réduit l'impact sur l'environnement.

Ses installations font entrer le tourisme dans une autre dimension : découvrir un parc naturel, skier dans un espace indoor à Dubaï aux portes du désert, se déplacer au cœur d'un parc d'attraction, connecter une ville à une zone de loisirs, rejoindre une île-resort en télécabine, découvrir Londres depuis la roue du London Eye...

AU CŒUR DE LA CHINE : UN DÉFI TECHNOLOGIQUE ET HUMAIN

Huashan est l'une des cinq montagnes sacrées qui balisent la Chine millénaire, au pied de laquelle repose l'incroyable armée des soldats en terre cuite. C'est un site époustouflant, sans équivalent dans le monde, avec de hautes parois verticales de granite blanc et des ravins profonds dans lequel les équipes de Poma ont relevé le défi d'installer une télécabine de 4,2 km de long pour 900 m de dénivelé.

Un défi qui tient presque de l'exploit quand on sait que l'utilisation de l'hélicoptère est impossible. Ici, l'homme remplace la machine. C'est une ruche de 200 personnes qui s'activait chaque jour, parfois par des températures de -30 °C. Pour creuser un tunnel en gare G4, il aura fallu monter à dos d'homme une chargeuse-pelleuse en pièces détachées ! La télécabine Multix 8 comporte deux sections avec une gare intermédiaire. La ligne présente plusieurs portées de 600 m sans pylône.

Quelques chiffres : le pylône 14 a nécessité 2 500 tonnes de béton pour un volume de 1 000 m³, acheminées par des blondins. ▶



© POMA
10



11



12

© POMA

Le déroulage du câble de 8,3 km de long d'un diamètre de 56 mm s'est réalisé dans le froid de l'hiver himalayen.

**LAS VEGAS :
LA PLUS GRANDE ROUE
AU MONDE**

Le Caesars Entertainment a confié à Poma la conception et la fabrication des cabines de la future plus haute roue d'observation du monde. Située à Las Vegas, cette roue géante appelée « High Roller » mesure 168 mètres de hauteur. Elle est l'attraction phare de « The Linq », un nouveau quartier urbain et de loisirs, financé par Caesars Entertainment. Déjà concepteur des cabines ovoïdes de la London Eye, Poma, avec ce projet, dépasse, en termes d'envergure et de technologie, les capsules de la roue londonienne : 28 cabines sphériques et transparentes de 6 mètres de diamètre et de 25 tonnes chacune composent la « High Roller ».

**À MORZINE-AVORIAZ :
2 400 PERSONNES/HEURE**

Construit en 1963, le téléphérique des Prodains, reliant les stations de Morzine et d'Avoriaz dans les Alpes, vient d'être remplacé par un nouveau téléphérique débrayable de type 3S réalisé par le groupement Leitner-Poma. La Serma⁽³⁾ a investi 25 M€ dans ce nouveau tramway aérien baptisé « Prodains Express ». Il peut transporter jusqu'à 2 400 personnes par heure

dans le plus grand confort. Rapide, efficace, fiable et avec un taux d'émission de CO₂ très faible, ce nouveau téléphérique prouve que le transport par câble possède de nombreux avantages et qu'il a sa place au cœur des réseaux de transport urbain. La solution développée par le groupement s'intègre dans l'environnement. La ligne, longue de 1750 mètres, comporte deux pylônes entre les gares de Morzine et d'Avoriaz. La gare amont d'Avoriaz est complètement souterraine, de façon à réduire son impact visuel.

**POUR LES JEUX OLYMPIQUES
D'HIVER DE 2014**

Les organisateurs des jeux Olympiques d'hiver de Sochi en Russie en 2014 ont confié à Poma la conception et la

12- Le téléphérique reliant Roosevelt Island à Manhattan, à New York, aux USA.

13- Téléphérique de Planpraz à Chamonix, en France.

fabrication de plusieurs appareils pour transporter les athlètes des épreuves de ski alpin et de saut à ski. Dans la station de Rosa Khutor : deux TSD 6 places situés au niveau de la piste de la descente femme, un TSF 2 places au niveau du tremplin de saut et une télécabine 10 places qui relie la gare ferroviaire au site du tremplin de saut.

Au-delà des quatre stations en cours de construction pour accueillir les épreuves olympiques, cinq autres projets de stations sont envisagés. Poma s'est vu confier l'aménagement des stations d'Arkhyz et d'Elbrus où elle poursuit l'installation de remontées mécaniques.

**TÉLÉCABINE-TÉLÉPHÉRIQUES
URBAINS EN ALGÉRIE**

Poma signé un contrat de 50 M€ pour la construction de télécabine-téléphériques à Tizi-Ouzou, en Kabylie, dans l'une des grandes wilayas d'Algérie⁽⁴⁾ comptant 1 300 000 habitants sur une superficie de 3 568 km². Le chantier a débuté le 3 juillet 2013, pour une mise en service en juillet 2015. Sur place, Poma s'est associé à l'entreprise de génie civil Bapiva.

La wilaya de Tizi-Ouzou présente un relief tourmenté de montagnes et de piémonts. Elle compte de nombreux villages perchés d'où affluent quotidiennement des milliers de personnes parmi celles qui les habitent. Durant la journée, le nombre de personnes présentes à Tizi-Ouzou double.

Le télécabine-téléphérique de Tizi-Ouzou « Kef Naadja-Sidi Beloua-Redjaouana » se décompose en trois tronçons et vient s'intégrer dans le plan d'amélioration des réseaux de transport public initié par les pouvoirs publics locaux. Il s'étendra sur une longueur totale de 5 475 m avec 6 gares dont 4 intermédiaires.

Pour Poma, ce sera sa 13^e réalisation en Algérie. L'entreprise a déjà construit



© POMA

13



© POMA 14



15

12 appareils dans le pays, dont 4 de type urbain à Alger. Il existe une vraie culture « câble » en matière de transport urbain en Algérie. L'Algérie a lancé un programme de construction de plusieurs lignes dans plusieurs villes et Poma vient de décrocher le premier de la liste.

20 À 50% MOINS CHER

Le transport par câble est entre 20% et 50% moins cher que les réseaux ferrés parce que ses infrastructures sont plus simples : c'est ainsi que dans les grandes villes comme New York, Le Caire ou Rio de Janeiro, le transport en milieu urbain constitue maintenant un des importants champs d'action de l'entreprise.

Plus de 70 ans séparent ce système de transport urbain et celui pour skieurs implanté sur les pentes de l'Écluse en février 1936. Entre temps, Poma aura construit sur la planète plusieurs milliers d'appareils à câble, du simple téléski à perches au téléphérique géant, dans les montagnes les plus reculées comme au cœur des agglomérations.

De l'ère de l'inventivité et de la persévérance du pionnier Jean Pomagalski,

à celle de la synergie et de la diversification sous l'égide de Michael Seeber, l'aventure Poma se poursuit. □

- 1- **Sacmi** : SAVoyarde de Construction et de Matériel Industriel, dans l'Isère.
- 2- **Sigma Composite**, dans l'Isère, producteur des célèbres cabines quadriplaces ovoïdes.
- 3- **SERMA** : Société d'Exploitation des Remontées Mécaniques de Morzine Avoriaz.
- 4- **Wilaya** : Préfecture.

14- Le funiculaire de Montmartre à Paris, devenu une légende en France comme à l'étranger.

15- La télécabine de la Knight Valley Express à Shenzhen, en Chine.

16- L'une des installations du Vivaldi Park en Corée.

17- La télécabine du Complejo do Alemão à Rio de Janeiro, au Brésil.

LA VISION DES CLIENTS : MOTEUR DE L'INNOVATION

Chaque installation Poma dans le monde est unique, De Rio à Nijni Novgorod en passant par New York ou Paradiski au cœur des Alpes françaises, elle intègre l'innovation et la technologie pour répondre au mieux aux besoins de ses clients.

La liaison par funiculaire, baptisée « Blanc Blanc » au CEA de Grenoble, en est le parfait exemple. Totalement révolutionnaire et unique au monde, ce funiculaire extérieur relie plusieurs salles blanches du Polygone Scientifique grenoblois. Équipée d'un sas avec douche « d'air propre », elle est étanche et se déplace sous atmosphère contrôlée.

Cincinnati, Detroit, Francfort, Pérouse, Zurich, Le Caire ont déjà fait le choix d'un moyen de transport confortable et fiable avec un impact environnemental très faible.

Le MiniMetro® by Poma de l'aéroport international du Caire révolutionne le monde du transport grâce à la technologie de ses véhicules sur cousins d'air (Air Levitation). Ce système novateur se positionne comme l'une des meilleures solutions en matière de mobilité douce.

POMA EN CHIFFRES

CHIFFRE D'AFFAIRES 2012 : 230 M€ dont 60% à l'export

EFFECTIFS : 880 personnes dont 660 en France

FILIALES EN FRANCE : 5

FILIALES À L'ÉTRANGER : 9

APPAREILS RÉALISÉS SUR LES 5 CONTINENTS : 7 800



© POMA 16



17



© NICOLAS VERCELLINO

LGV EST : 17,5 KM SIGNÉS RAZEL-BEC

AUTEURS : FLORENT IMBERTY, DIRECTEUR ÉTUDES ET STRUCTURES DU DÉPARTEMENT TECHNIQUES & MÉTHODES, RAZEL-BEC - FRANÇOIS HOCQUAUX, INGÉNIEUR TRAVAUX, RAZEL-BEC - BENÔT CHAPRON, DIRECTEUR ADJOINT GÉNIE CIVIL OUVRAGE D'ART, RAZEL-BEC

LES ÉQUIPES DE RAZEL-BEC ONT RÉALISÉ LES LOTS 43B ET 49, DEUX TOARC DE 15,5 ET 2 KM DE LONGUEUR RESPECTIVE. PRINCIPALE CONTRAINTE : DE NOMBREUSES PHASES DE TRAVAUX SOUS CONSIGNATION DE CIRCULATION FERROVIAIRE QUI ONT REQUIS UN PHASAGE ET UN PLANNING RIGOUREUX. QUANT AUX TERRASSEMENTS, ILS ONT FAIT L'OBJET D'UNE SOLUTION DE TRANSPORT ALTERNATIVE AYANT PERMIS DE LIMITER L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.

C'est le 10 juin 2007 que le premier tronçon de la Ligne à Grande Vitesse (LGV) Est-Européenne est entré en service, ces 300 km de ligne constituant le point de départ du projet de La Magistrale Européenne qui devrait connecter, à terme, Paris à Budapest et Bratislava, via Vienne et Munich. Dès la mise en service de la phase 1, Réseau Ferré de France (RFF) a lancé une deuxième phase de travaux, le tracé de 106 km, qui reliera Baudrecourt (57) à Strasbourg (67), mettant le chef-lieu de

la région Alsace à 1h50 de Paris en 2016 (contre 4h en 2007). C'est dans le cadre de ce nouveau défi ferroviaire que les équipes de RAZEL-BEC se sont vu confier la réalisation des lots 43B et 49, situés à l'extrémité est du tracé.

DES TERRAINS FORTEMENT COMPRESSIBLES

Dans la pratique, le lot 43B est un TOARC linéaire de 15,5 km de longueur, situé intégralement dans le Bas-Rhin entre les communes de Lupstein et Eckwersheim, représentant 3 millions

1- Lot 49 - Vue du raccordement côté Strasbourg.

1- Work section 49 - View of the Strasbourg end connection.

de mètres cube de terrassement et la construction de 17 ouvrages d'art courants - 8 ponts-routes et 9 ponts-rails de type cadre ballasté ou enterré et un ouvrage d'art non courant, le viaduc

du Rohrbach (voir encadré). Quant au lot 49, qui se situe à l'extrémité est de la LGV et s'étend sur 2 km, il se caractérise par une forte densité d'ouvrages d'art avec 4 viaducs poussés - un pont bipoutre mixte et trois ponts métalliques à poutres latérales (RAPL) - ainsi que trois ouvrages courants. Outre la réalisation de travaux classiques sur ce type de projet - traitement à la chaux des matériaux argileux, construction de masques de protection et de masques poids dans certaines zones particulières où des glissements de terrain avaient



2

2 & 3- Lot 49 - Travaux de construction d'un pont à poutres latérales (RAPL).

2 & 3- Work section 49 - Work for construction of a side girder rail bridge.

été observés - les deux tronçons se caractérisent par la présence de nombreuses zones compressibles qui ont nécessité des dispositions constructives particulières notamment au niveau des assises des blocs techniques des viaducs, ainsi qu'en assise de nombreux remblais.

Pour réduire la durée de consolidation des terrains à des délais compatibles avec le planning du projet une solution de pré-chargement incluant l'anticipation de la surcharge ferroviaire (hauteur de 1,50 à 2,50 m), associée à la mise en œuvre de drains verticaux (maillage de 1,50 x 1,50 m à 2,50 x 2,50 m) de 8 à 17 m de profondeur, a été employée. Ces travaux, qui ont bien entendu nécessité une forte anticipation, ont permis d'obtenir les tassements définis par les notes de calculs géotechniques en 1,5 à 7 mois maximum.



3

L'ESSENTIEL DU PARC MATÉRIEL

- Echelon Motorscraper Bull D10N + 6MS631
- Echelon pelle 85 tonnes Caterpillar 385LME + 15 tombereaux 769
- Echelon pelle 75 tonnes Caterpillar 375LME + 5 tombereaux articulés Volvo A40 + 4 Caterpillar 740
- Echelon pelle 65 tonnes Caterpillar 365LME + 5 tombereaux articulés Volvo A35
- Echelon pelle 45 tonnes Volvo 460 + 12 camions 8x8
- Echelon pelle 30 tonnes Caterpillar 330 + 5 tombereaux articulés Volvo A30
- Echelon de traitement 1 Bull D10 charrue + 1 Bull D7R charrue + 2 pulvimixeur (Wirtgen2500 et Bomag MPH125)

LE BITUME ACQUIERT SES LETTRES DE NOBLESSE

Autre particularité technique commune à ces deux lots : une structure d'assise sous ballast en grave bitume. Cette innovation technique, qui figurait comme variante au marché, résulte d'une première expérimentation qui avait été mise en œuvre sur une section de 3 km lors de la première phase de la LGV Est, cette solution étant en l'occurrence reconduite sur les 31 km du projet situé entre le tunnel de Saverne et l'extrémité Est du lot 49. Dans la pratique cette solution innovante dans le ferroviaire, se substitue au traditionnel complexe couche de forme et sous couche ferroviaire en matériaux granulaires. La structure alternative est constituée d'une couche de réglage directement mise en œuvre sur l'arasement de la partie supérieure des terrassements (PST) sur 20 cm et d'une couche de grave bitume à formulation spécifique sur 14 cm d'épaisseur. En phase travaux, l'avantage essentiel se situe au niveau de la logistique de chantier, la couche de grave-bitume étant, contrairement là encore à une sous-couche ferroviaire granulaire, circulaire après sa réalisation, permettant la réalisation par moyens routiers de plusieurs phases d'équipements ferroviaires (signalisation, caténaires) ►



4

© NICOLAS VERCELLINO

sans risque de détérioration de la sous-couche. Côté terrassements, le lot 43B était marqué par la présence de deux importants remblais qui ont nécessité la réalisation d'une piste provisoire de 9 km de longueur, un pont provisoire devant, par ailleurs, être construit au-dessus d'une route départementale impossible à couper et dévier. Même problématique sur le lot 49, le canal de la Marne au Rhin requérant la mise en œuvre d'un double pont provisoire (un pour les engins, l'autre pour les véhicules légers) afin de permettre la circulation et le transit des matériaux entre les deux rives tout en évitant le franchissement à niveau de la voie ferrée Paris Strasbourg.

TRAVAUX SOUS CONSIGNATION

Sur le lot 49, l'essentiel des contraintes de réalisation sont générées par la

situation des travaux à réaliser entre le canal de la Marne au Rhin et les voies ferrées existantes de la ligne Paris-Strasbourg. Notamment, pour les deux ouvrages de franchissement de la ligne en service, toutes les opérations de lancement des charpentes métalliques, de bétonnage du hourdis et de transfert des outils se sont déroulées sous consignation SNCF, autrement dit lors des coupures de ligne programmées les week-end et certains jours entre minuit et quatre heures du matin. D'où l'obligation de respecter un phasage rigoureux et d'adapter les plannings du personnel à ces créneaux horaires complexes. L'ouvrage le plus remarquable de ce lot est le PRA 49-250 : un bipoutre mixte de 236 m de longueur à sept travées (25m/36m/54m/36m/30m/30m/25m), courbe en plan et ne supportant qu'une

4- Lot 49 - Vue d'ensemble.

4- Work section 49 - Overall view.

seule voie de circulation, faisant office de saut de mouton. Il est constitué de deux tabliers successifs, la charpente métallique de 153 m du tronçon C0-P4, qui comprend un point fixe sur P2 et enjambe la ligne Paris-Strasbourg, ayant ainsi été lancée en une seule phase durant la nuit du 28 octobre 2012. L'autre tronçon P4-C7, qui comprend un point fixe sur P4 a, quant à lui, été posé classiquement à la grue eu égard à l'absence de contraintes de franchissement des voies. Le hourdis a, pour sa part, été bétonné avec deux

équipes mobiles, un choix méthodologique dicté, là encore, par les contraintes de délais qui imposaient des dates impératives pour le déplacement des outils. Autre caractéristique très contraignante de cet ouvrage : un biais important. Il en résulte, pour les deux piles P2 et P3 situées de part et d'autre des voies SNCF existantes, une géométrie très particulière avec un chevêtre droit, alors que le fût des piles et la semelle sont biaisés. Spécificité morphologique qui a requis la conception sur mesure d'un coffrage bois réalisé par l'atelier de menuiserie de l'entreprise RAZEL-BEC. À noter que la conception de l'ensemble des ouvrages des deux lots, avait été menée selon l'ancienne réglementation sismique (livret 2.01, règles parasismiques AFP592) en vigueur à l'époque des études d'avant-projet. Il a fallu lors

ZOOM : LE VIADUC DU ROHRBACH

Cet ouvrage à 5 travées (29m/37m/37m/37m/29m) de 169 m de longueur, le plus grand du lot 43B, franchit la RD25 ainsi que le ruisseau éponyme. Un environnement particulièrement sensible qui, comme sur l'ensemble des deux lots, a requis la mise en œuvre d'importantes mesures de protection vis-à-vis du milieu naturel, notamment en matière de rejets des eaux. Il s'agit d'une structure de type bipoutre mixte qui a été lancée en une seule phase à partir d'une plateforme construite au niveau de la culée C0.

Le hourdis inférieur est constitué de dalles préfabriquées, le hourdis supérieur ayant, quant à lui, été coulé en place au moyen d'un équipage mobile permettant de réaliser des plots de 12 m. La partie centrale a été coffrée au moyen de dalles préfabriquées non collaborantes. Ces travaux de bétonnage, réalisés en hiver, ont nécessité une grande vigilance en termes de protection du béton vis-à-vis du gel, l'équipage devant, à ce titre, être calorifugé et bâché. Le biais significatif (70 grades) des piles et des culées a eu un impact important sur la conception et la mise en œuvre des prédalles du tablier. La mise en place des éléments, qui s'est déroulée en combinant inclinaisons et retournements, a en effet nécessité des modélisations tridimensionnelles

de l'opération d'enfilage afin de tenir compte de l'encombrement des ferrallages et du biais de la charpente.

Autre particularité de l'ouvrage : la présence de deux points fixes au niveau des piles P2 et P3. Cette spécificité est rendue nécessaire par la longueur de l'ouvrage combinée à la continuité des rails au droit des joints de dilatation, continuité qui implique de respecter une longueur dilatable inférieure à 90 m. Les piles des ouvrages ferroviaires étant, par nature, très rigides, la présence de ces deux points fixes fait apparaître des efforts importants sous l'effet des déformations imposées (contraintes thermiques et rotation du tablier sous les charges de trafic).

Les fondations de ces deux piles sont donc fortement sollicitées, d'où la nécessité de réaliser 6 pieux de diamètres importants (Ø 2000 mm) par appui - les autres piles sont fondées sur des pieux de Ø 1200 mm - armés à 300 kg/m³ et atteignant jusqu'à 18 m de profondeur.

Cet ouvrage illustre, par ailleurs, la parfaite synergie qui a régné sur l'ensemble du chantier entre les différentes entités du Groupe Fayat, Franki réalisant une partie des pieux et SAPB la préfabrication des dalles et prédalles.



5



6

des études d'exécution menées par le bureau d'études intégré Techniques & Méthodes RAZEL-BEC, réaliser de nouvelles études multimodales en intégrant les règles Eurocodes et le

nouveau zonage sismique de la France et en croisant les données afin d'intégrer les cas de figure les plus défavorables selon les deux réglementations. La modification des barrières de sécu-

5- Lot 49 - Bétonnage de nuit d'un tablier de RAPL.

6- Lot 43B - Secteur du viaduc du Rohrbach.

5- Work section 49 - Concreting a side girder rail bridge deck at night.

6- Work section 43B - Rohrbach viaduct sector.

rité des ponts-routes, afin de respecter la nouvelle réglementation européenne, a également été un élément à prendre en compte. Les barrières BN4, prévues à l'avant-projet, ont dû être remplacées par des barrières H4W5 disposant du marquage CE. Ces modifications ont pu se faire sans modification de la largeur des ouvrages, mais les murs en retour des culées ont dû, en revanche, être arasés afin de ne pas perturber le bon fonctionnement des dispositifs de retenue en cas de choc de véhicules. □

DES DÉBLAIS EN CROISIÈRE

L'essentiel des matériaux utilisés en remblais sur le lot 49 provient du creusement du tunnel de Saverne (lot 47), un bi-tube de 4 km de longueur, creusé par le tunnelier Charlotte et distant d'une quarantaine de kilomètres du chantier. D'où l'idée de réemployer ces déblais, constitués essentiellement de grès vosgiens, et de profiter de la proximité du canal de la Marne au Rhin pour effectuer des mouvements de terre plus respectueux de l'environnement. L'idée étant, bien entendu, de diminuer les va-et-vient de semi-remorques sur l'autoroute A4 et, partant, de minimiser tout à la fois les gênes aux riverains et les nuisances environnementales en termes de bilan carbone. Cette solution alternative, mise en place sous l'impulsion et de RFF en collaboration avec VNF (Voies Navigables de France), a ainsi permis d'acheminer 100 000 tonnes de matériaux la flottille, qui a œuvré pendant deux mois et demi, permettant d'économiser plus de 100 000 km de transport routier. Dans la pratique les déblais, issus du percement, étaient repris par des camions semi-remorques depuis l'extrémité Est du tunnel jusqu'au port de Dettwiller, distant d'environ 2 km. Ils étaient alors chargés sur les péniches puis acheminés, par le canal, sur 24 km jusqu'à Eckwersheim où un quai construit sur l'emprise du chantier du lot 49 permettait leur déchargement avant utilisation en remblais.

FICHE TECHNIQUE ET PRINCIPALES QUANTITÉS

LES INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF

MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec

ENTREPRISES : Groupement Razel-Bec (mandataire)/Colas Est/Poncin

DÉLAIS DE RÉALISATION : 31 mois comprenant 3 délais partiels
Avril 2011, pour le lot 43B, et 30 mois pour le lot 49

LOT 43B : Béton 13 500 m³ ; Acier 2 000 t ; Coffrages 20 000 m²

LOT 49 : Béton 12 230 m³ ; Acier 1 700 t ; Coffrages 13 650 m²

ABSTRACT

EAST EUROPEAN HSL: 17.5 KM SIGNED BY RAZEL-BEC

RAZEL-BEC : FLORENT IMBERTY - FRANÇOIS HOCQUAUX - BENOÎT CHAPRON

The RAZEL-BEC teams were in charge of work sections 43B and 49, located at the eastern end of the project, with the whole route covering a length of 17.5 km punctuated by 25 engineering structures, five of which are non-standard. A feature of the two sections was the existence of compressible areas, so a soil preloading solution had to be implemented and vertical drains laid to reduce the time for soil consolidation at the level of the technical foundation blocks for viaducts and embankments. The vicinity of the existing Paris-Strasbourg line heavily constrained the work schedule for numerous engineering structures, and for all the steel frame launching, concreting and tool transfer operations carried out for the viaducts in question rail traffic was suspended, with line shutdowns being scheduled for weekends and on certain days between midnight and four o'clock in the morning. □

LGV ESTE: 17,5 KM FIRMADOS RAZEL-BEC

RAZEL-BEC : FLORENT IMBERTY - FRANÇOIS HOCQUAUX - BENOÎT CHAPRON

Los equipos de RAZEL-BEC se encargaron de los lotes 43B y 49, situados en el extremo este del proyecto. El conjunto del trazado representaba un lineal de 17,5 km con 25 obras de ingeniería, cinco de ellas fuera de lo común. Los dos tramos, caracterizados por la presencia de zonas compresibles, necesitaron la aplicación de una solución de precarga de los terrenos, combinada con el montaje de drenajes verticales, para reducir el tiempo de consolidación de los terrenos a nivel de los asientos de los bloques técnicos de los viaductos y de los terraplenes. La proximidad de la línea existente, París-Estrasburgo, limitó en gran medida el planning de ejecución de muchas estructuras, ya que todas las operaciones de lanzamiento de los armazones metálicos, de hormigonado y de traslado de herramientas de los viaductos correspondientes se realizaron bajo consignación de la SNCF (Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses), durante cortes de línea programados los fines de semana y algunos días entre medianoche y las cuatro de la mañana. □

PROJET LGV BPL - TERRASSEMENTS DANS LES SCHISTES BRIOVÉRIENS

AUTEURS : NATHALIE HANSEN, INGÉNIEURE GÉOTECHNIQUE, EIFFAGE TP / FOUGEROLLE BALLOT TERRASSEMENTS -
PATRICE CHARDARD, DIRECTEUR TECHNIQUE, EIFFAGE TP / FOUGEROLLE BALLOT TERRASSEMENTS

LA SOCIÉTÉ EIFFAGE RAIL EXPRESS (ERE) RÉALISE LA FUTURE LIGNE À GRANDE VITESSE BRETAGNE - PAYS DE LA LOIRE (LGV BPL) ENTRE LE MANS ET RENNES, DANS LE CADRE D'UN CONTRAT DE TYPE PPP SIGNÉ AVEC RFF. CETTE CRÉATION DE 214 KM DE LIGNE NOUVELLE IMPLIQUE LE DÉPLACEMENT DE 27 MILLIONS DE M³ DE MATÉRIAUX ET LA CONSTRUCTION DE PLUS DE 200 OUVRAGES D'ART DONT UNE DIZAINE DE VIADUCS. LE TRONÇON GC1 ENTRE LAVAL ET RENNES TRAVERSE DES SCHISTES MARNEUX À GRÉSEUX DU BRIOVÉRIEN QUI PRÉSENTENT DES PARTICULARITÉS BIEN MARQUÉES.

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE TP

1



CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La LGV BPL relie la bordure occidentale du Bassin Parisien au Massif Centre Armoricaïn. Les formations géologiques en présence au droit du tracé sont représentées par des terrains plus ou moins métamorphiques du Précambrien et du Paléozoïque pour les plus anciens et par des terrains sédimentaires allant du Jurassique au Quaternaire récent (figure 2).

La ligne ferroviaire traverse trois grandes unités géomorphologiques qui sont, d'Est en Ouest :

1- Les terrains sédimentaires appartenant à l'auréole occidentale du Bassin Parisien Pk 0 à 67. Cette unité géomorphologique est constituée de plaines et de plateaux. Elle présente un relief vallonné lié à l'activité des cours d'eau qui

ont creusé des vallées assez encaissées dans l'ensemble. Les plaines sont essentiellement constituées par des terrains sablo-argileux du Cénomaniens et les plateaux sont formés par des terrains rocheux du Jurassique (calcaires, calcaires marneux, marnes).

2- Les terrains Paléozoïques Hercyniens du Synclinorium de Laval orientés NW-SE, selon la direction principale du Massif Armoricaïn Pk 67 à 122. Cette unité correspond à un plateau faiblement ondulé avec des vallées principales encaissées de 20 à 30 m et de nombreux vallons secondaires peu profonds. Cette unité est constituée par des terrains d'âge Dévonien à Carbonifère, localement Silurien et Ordovicien à l'extrémité Nord-Ouest. La lithologie est à dominante schisto-gréseuse, mais les

parties gréseuses ne sont pas assez développées pour générer des reliefs marqués. On rencontre également des conglomérats et des calcaires.

Ces terrains présentent une altération plus ou moins développée et peuvent être recouverts par des sables et graviers du Pliocène et des limons de plateau. Les alluvions sont présentes au fond des vallées principales.

3- Les terrains du Précambrien et du Paléozoïque du Massif Centre Armoricaïn constitués essentiellement par les schistes du Briovérien, localement recoupés par des intrusions granitiques Pk 122 à 180. Le domaine structural Centre Armoricaïn est constitué par un paysage de collines entrecoupées de vallées peu encaissées à l'Ouest et plus profondes au début du tronçon coté Laval. Les dénivelées sont faibles, comprises entre 32 NGF et 138 NGF avec une diminution progressive vers Rennes. Ces collines sont constituées d'Est en Ouest par les formations schisto-gréseuses du Carbonifère et les formations schisteuses du Précambrien (Briovérien) avec un massif intrusif de granite au Pertre. Les vallées et vallons sont constitués par un remplissage de formations argileuses issues de la dégradation et du transport des formations schisteuses et par des formations sableuses dans le pourtour du massif du Pertre.

CARACTÉRISATION GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DU TRONÇON GC1

Les lots A et B (tronçon GC1) sont

en grande majorité compris dans la formation des schistes du Briovérien. Il s'agit de roches sédimentaires les plus anciennes du massif armoricaïn (600 Ma), pas ou peu métamorphisées, dont la puissance est importante (1 300 m).

La carte géologique distingue deux faciès, les alternances silto wackeuses [bC] et les alternances silto-gréseuses [bS], composés de grauwwackes, micro-conglomérats, siltites parfois ardoisières, grès parfois carbonatés, argillites et grès tendres.

L'enchaînement de ces deux faciès peut être très rapide, et constitue une particularité de cette formation géologique du Briovérien (figure 3).

La nature de ces schistes rend difficile leur caractérisation ; En fonction du niveau et du banc rencontré, la classe GTR varie de R6 à R4 et R3 avec des duretés très hétérogènes.

La fracturation et la schistosité sub-verticale participent à la difficulté d'interprétation des sondages de reconnaissances qui n'ont pas permis de différencier précisément les deux ensembles.

Les profils géologiques établis pour le projet ne font donc pas de distinction entre le bC et bS et prennent en compte simplement des schistes briovériens [b].

Cette imprécision constitue une première difficulté pour l'entreprise qui ne peut facilement appréhender le type de matériaux qu'elle va rencontrer, alors que le bS et bC ont des comportements mécaniques différents. ▶



1- Déblai D1790 - extraction des schistes à la pelle.
2- Contexte géologique du projet BPL.

1- Earth cut D1790 - extraction of shales by excavator.
2- Geological context of the BPL project.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU PROJET BPL



2

ALTÉRATION DES SCHISTES BRIOVÉRIENS

Le substratum briovérien est plus ou moins profondément altéré et argilisé et peut avoir conservé sa structure schisteuse, avec une transition progressive depuis les schistes sains jusqu'aux schistes complètement décomposés. Le matériau présente des degrés d'altération et de fracturation extrêmement variables qui ne correspondent pas nécessairement avec sa position géomorphologique. Les sondages géotechniques retiennent la séquence suivante :

- Schistes décomposés (limons argileux avec cailloutis éparses) ;
- Schistes altérés (transition entre schistes décomposés et sains) ;
- Schistes sains - plus ou moins fracturés.

Mais ces limites ne sont pas nettes et peuvent dépendre des caractéristiques initiales du substratum (plus ou moins dur => bC ou bS), du degré de fracturation et de l'orientation de la schistosité. Elles sont déterminées à partir des sondages géotechniques dont le diamètre est à l'échelle de la dizaine de centimètre pour la plupart. Si les sondages sont réalisés dans un matériau très fracturé ou dans un inter banc de schistosité verticale, la coupe retenue ne sera pas représentative du matériau en place. Par ailleurs, les limites d'altération dépendent aussi de la présence de circulations d'eau, de cours d'eau, de failles, etc.

Ce tracé incertain des limites d'altération constitue aussi une difficulté autant en phase de conception qu'en phase travaux : détermination des hypothèses de calculs, difficultés d'optimisations, choix d'un calcul sécuritaire avec des dispositions plus lourdes, difficulté dans le choix des méthodes d'extraction.

Ces variabilités (dureté, altération) constituent de réelles difficultés pour la conception et les travaux, autant pour les ouvrages en déblais que pour les ouvrages en remblais.

SCHISTOSITÉ

La schistosité du Briovérien est majoritairement subverticale (pendage 60 à 90°), ce qui est favorable dans les calculs de stabilité pour des pentes de talus standards de 2H/1V ou 3H/2V. Des relevés précis de l'orientation et du pendage sont toutefois réalisés au fur et à mesure de l'exécution des déblais, afin de vérifier les mécanismes de ruptures éventuels.

En dehors de ruptures sur des dièdres de faibles dimensions (figure 4), il est



3



4



5

observé ponctuellement une schistosité parallèle à la pente du talus qui peut provoquer, dans le cas d'une résistance au cisaillement sur joint insuffisante, des glissements plans subparallèles à la pente du talus (figure 5).

EXTRACTION DES MATÉRIAUX

La présence de matériaux meubles et de matériaux rocheux impose des moyens d'extraction adaptés. À partir des profils géologiques, eux-mêmes bâtis à partir des cartes géologiques et des sondages géotechniques, les épaisseurs et quantités de matériaux rocheux sont estimées afin de déterminer la composition des ateliers de terrassements et le besoin éventuel de minage des matériaux rocheux. Il est usuel de considérer que les matériaux

3- Déblai D1750 - variation de faciès - schistes et bancs gréseux.

4- Déblai D1750 - schistosité parallèle au talus, détachement de petits dièdres.

5- Déblai D1790 - glissement plan selon la schistosité.

3- Earth cut D1750 - facies variation - shales and gravelly benches.

4- Earth cut D1750 - schistosity parallel to the embankment.

5- Earth cut D1790 - translational slide according to schistosity.

dont la vitesse sismique est supérieure à 2 000 m/s sont des matériaux sains, devant être extraits au moyen du minage.

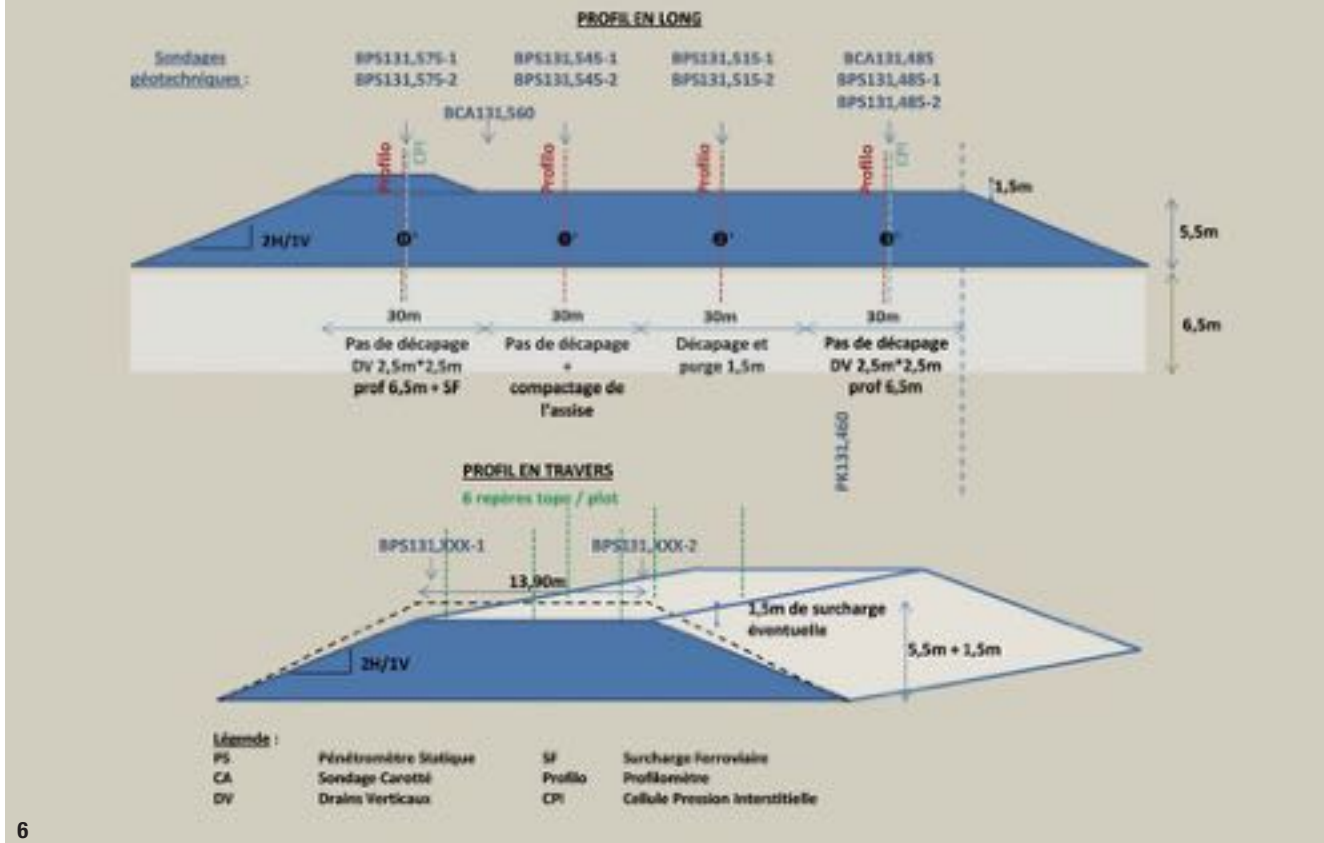
Sur le tronçon GC1, certains déblais rocheux considérés comme devant être excavés au moyen d'explosifs en phase conception ont pu être extraits à la pelle mécanique (figure 1), avec l'aide d'un bull ripper, d'une dent de déroctage ou l'intervention d'un BRH ponctuellement. D'autres déblais, malgré la schistosité et la fracturation importante, ont dû être minés avant l'extraction à la pelle.

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN LGV

Les schistes du briovérien constituent un matériau de remblai courant de bonne qualité, sous réserve de maitri-

SCHÉMA DE RÉALISATION DU REMBLAI D'ESSAI

Plots avec et sans drains verticaux



6

ser la teneur en eau pour les sols fins qui peuvent se présenter dans un état hydrique humide ou sec, et de correctement identifier les faciès rocheux qui peuvent être fragmentables et ainsi nécessiter une adaptation de l'énergie de compactage.

Les schistes décomposés de classe B5 à A1-A2 selon le GTR ont pu être valorisés par traitement à la chaux ou au liant routier. Les études de traitement ont été menées par le laboratoire central d'Eiffage Travaux Publics puis par le laboratoire mis en place pour la réalisation du chantier. La valorisation éventuelle des matériaux rocheux est déterminée à partir des essais de dureté LA (Los Angeles - dureté des granulats) et MDE (Micro Deval - usure des granulats). La forte variabilité des matériaux peut conduire à des prélèvements non représentatifs du déblai et ainsi à une mauvaise approche de conception géotechnique : des essais peuvent montrer des duretés importantes s'ils ont été effectués sur un banc dur intercalé dans des matériaux plus tendres. Les niveaux silto-wackeux [bC] sont en général durs alors que les niveaux

6- Schéma de réalisation du remblai d'essai - plots avec et sans drains verticaux.

6- Schematic of trial backfill execution - sections with and without vertical drains.

de wackes et argilites [bS] sont souvent tendres. La fréquence de changement de faciès peut être élevée ce qui conduit à une valorisation difficile des matériaux : à l'extraction, tout est mélangé et les matériaux durs sont perdus dans les matériaux plus tendres. La schistosité subverticale est une contrainte supplémentaire dans le tri de matériaux qui pourrait être envisagé : l'excavation se fait la plupart du temps à la pelle, par front de 3 mètres d'épaisseur environ, alors que les faciès

changent également avec la position de l'atelier d'extraction.

FOUILLES D'OUVRAGES D'ART

La variabilité des faciès d'altération est une difficulté pour les fondations des ouvrages d'art. En conception, les sondages géotechniques ne permettent pas toujours de bien appréhender les caractéristiques des couches. Les essais pressiométriques donnent des résultats très variables d'un sondage à l'autre sur quelques mètres d'écart. En exécution, l'interprétation qualitative des terrains en présence est difficile dans les fonds de fouille ; il n'est pas toujours aisé de savoir si les matériaux rencontrés sont ceux pris en compte dans les notes de calculs : limite incertaine entre les matériaux décomposés du Briovérien qui s'apparentent à des limons argileux et les alluvions, limite entre les schistes décomposés, altérés ou les schistes sains très fracturés. La mission de suivi géotechnique d'exécution comprend une réception des fonds de fouilles d'ouvrages de façon à s'assurer de la conformité des hypothèses avec la réalité du chantier.

ASSISES DE REMBLAIS

L'assise des remblais est majoritairement constituée de l'altération ultime des schistes du Briovérien.

Les données de reconnaissances par sondages et essais en laboratoire collectées lors des campagnes géotechniques conduisent à considérer que les faciès décomposés du substratum géologique en place sont assez souvent compressibles.

Fréquemment, les sondages géotechniques et les essais laboratoire aboutissent à des valeurs de tassement non représentatives du comportement de l'ensemble des couches dites compressibles, ceci pour plusieurs raisons :

→ Le prélèvement d'échantillons intacts dans ces horizons schisteux argilisés est délicat.

→ Pour les essais de laboratoire, les échantillons sont dans la plupart des cas prélevés dans les horizons fins plus argileux pour permettre la réalisation d'essais oedométriques, alors qu'en réalité l'assise du remblai est constituée d'une alternance de couches limono-argileuses, sableuses, graveleuses.

Les essais montrent donc un matériau compressible et une vitesse de consolidation faible alors que la variabilité des faciès conduit plutôt à un tassement faible (de l'ordre de la dizaine de centimètres le plus souvent) et à une consolidation rapide.

→ Par ailleurs, ces terrains issus du substratum peuvent être surconsolidés mais ceci n'est pas toujours traduit par les essais en laboratoire.

Les dispositions constructives issues de ces résultats et de l'approche cédométrique sont lourdes (linéaire très important de drains verticaux, volumes de purges et de pré-chargement).

Pour permettre aux travaux d'éviter des dispositions constructives importantes issues des résultats des reconnaissances et des calculs de conception, un remblai d'essai (figure 6) a été réalisé dans une zone représentative de GC1. Cette zone se situe au niveau du remblai R1315, sur le TOARC B.

Le terrain d'assise est composé de séquences d'altération du schiste : décomposés, altérés puis sains.

Le remblai d'essai est composé de 4 plots distincts, avec des dispositions constructives différentes (purge, drains verticaux, surcharge ferroviaire) pour permettre de voir leurs effets sur les mesures. Ils sont instrumentés au moyen de profilomètres (figure 7), de capteurs de pression interstitielle et de cibles topographiques.

Les mesures réalisées montrent que les tassements réels sont plus faibles que ceux obtenus par le calcul et que la consolidation est atteinte rapidement. À la suite de ce remblai test, les ouvrages sensibles, pour lesquels des tassements étaient susceptibles de se produire, ont été instrumentés afin de vérifier les hypothèses avancées en études exécution. Ces ouvrages confir-



7 © PHOTO THÉÂTRE EIFFAGE TP

ment les résultats du remblai d'essai et la pertinence des dispositions constructives adoptées pour la réalisation des remblais.

CONCLUSION

Dans la formation des schistes du Briovérien, la rythmicité de faciès, l'orientation de la schistosité et les variabilités d'épaisseur d'altération rendent difficile l'approche géotechnique du projet.

En conception comme en études d'exécution, cette variabilité des horizons et des faciès du Briovérien peut conduire à une mauvaise appréciation des caractéristiques des matériaux.

Les hypothèses qui en découlent peuvent amener un surdimensionnement

7- Sortie de tube profilométrique au remblai d'essai R1315.

7- Exit of profilometer tube on trial backfill R1315.

des dispositions constructives pour les ouvrages en remblais (compressibilité surévaluée), ou un sous-dimensionnement en déblais (comportements mécaniques non homogènes).

L'importance du suivi géotechnique d'exécution est à nouveau soulignée. □

INTERVENANTS

PROJET PPP : Réseau Ferré de France / Eiffage

MAÎTRE D'OUVRAGE : ERE - Eiffage Rail Express

MAÎTRE D'ŒUVRE : CLERE - Construction Ligne Eiffage Rail Express

ENTREPRISE : EIFFAGE Travaux Publics

ABSTRACT

BPL HSL PROJECT - EARTHWORKS IN BRIOVERIAN SHALES

EIFFAGE TP / FOUGEROLLE BALLOT : NATHALIE HANSEN - PATRICE CHARDARD

Eiffage Rail Express (ERE) is constructing the future Brittany-Pays de la Loire high-speed rail line (the "BPL HSL") between Le Mans and Rennes, under a public-private partnership agreement signed with Réseau Ferré de France. The project consists of the creation of 214 km of new line in a variable geological context. The earthworks will involve moving 27 million m³ of materials, and more than 200 engineering structures will be constructed, including about ten viaducts. Section GC1 between Laval and Rennes mainly passes through the marly to gravelly shales of the Brioverian, located in the Central Armorican domain. This geological formation has very pronounced special features that must be allowed for in the design and execution stages. □

PROYECTO LGV BPL - MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LOS ESQUISTOS DEL BRIOVERIANO

EIFFAGE TP / FOUGEROLLE BALLOT : NATHALIE HANSEN - PATRICE CHARDARD

La sociedad Eiffage Rail Express (ERE) realiza la futura línea de alta velocidad Bretaña - Países del Loira (LGV BPL) entre Le Mans y Rennes, en el marco de un contrato de asociación público-privada firmado con Réseau Ferré de France. El proyecto consiste en la creación de 214 km de línea nueva en un contexto geológico variable. Los movimientos de tierras desplazarán 27 millones de m³ de materiales y se construirán 200 estructuras, entre las que se encuentran una decena de viaductos. El tramo GC1 entre Laval y Rennes atraviesa principalmente los esquistos margosos de arenisca del Brioveriano, situados en el dominio estructural Centro Armoricano. Esta formación geológica presenta particularidades muy marcadas que deben tenerse en cuenta en el diseño y la realización. □



1

© BALLOIDE PHOTO

A36 MONTBÉLIARD - LA COMPLEXITÉ DES TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT AUTOROUTIERS PÉRI-URBAINS

AUTEURS : PASCAL DOS SANTOS, DIRECTEUR D'AGENCE GRANDS TRAVAUX ENROBÉS, EIFFAGE TP/GIL - CHRISTOPHE LABBÉ, CONDUCTEUR D'OPÉRATIONS GRANDS PROJETS, APRR - AMMAR TRICHE, DIRECTEUR TECHNIQUE GRANDS TRAVAUX ENROBÉS, EIFFAGE TP/GIL

EIFFAGE TP GRANDES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES ET EIFFAGE TP RHÔNE-ALPES VIENNENT D'ACHEVER LES TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT DE L'AUTOROUTE A36 À MONTBÉLIARD POUR LE COMPTE D'APRR. CE PROJET, D'UNE LONGUEUR DE 7 KM, CONSISTE EN L'ÉLARGISSEMENT DE L'AUTOROUTE À 2X3 VOIES DANS LES DEUX SENS DE CIRCULATION, LA RECONFIGURATION DES DIFFUSEURS POUR UN SYSTÈME D'ÉCHANGE PLUS PERFORMANT ET LE DOUBLEMENT DE DEUX VIADUCS (ARBOUANS ET BELCHAMP). C'EST L'OCCASION DE METTRE EN LUMIÈRE LES ENJEUX D'UN TEL PROJET POUR APRR ET D'ANALYSER LA COMPLEXITÉ DES CONTRAINTES QU'IL ENGENDRE POUR LES ENTREPRISES, FILIALES D'EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS.

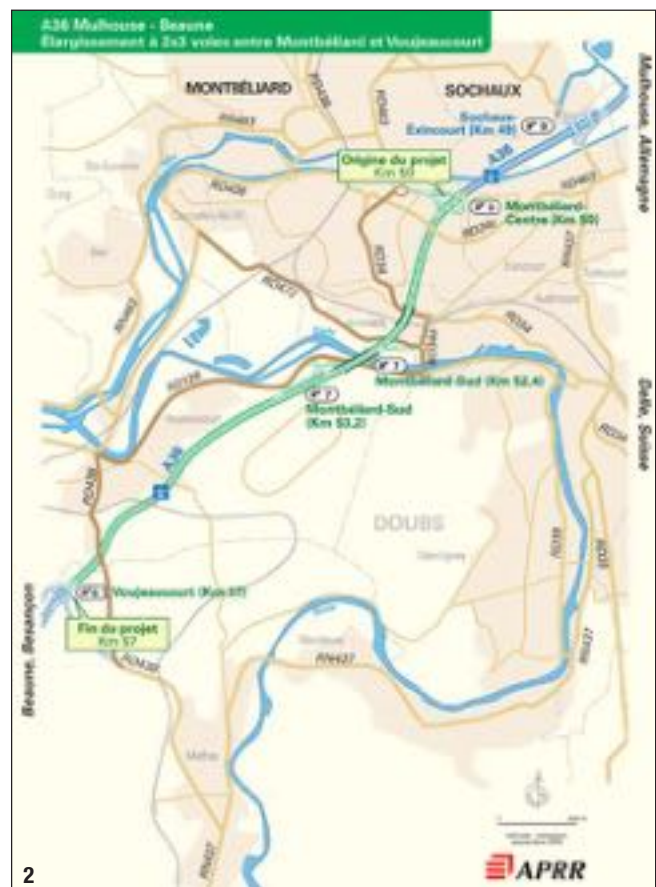


TABLEAU 1 : PLANNING SIMPLIFIÉ DES TRAVAUX

	2011	2012	2013
→ Élargissement Montbéliard - Arbouans		■	■
→ Élargissement Arbouans - Voujeaucourt	■	■	
→ Viaduc d'Arbouans	■	■	
→ Viaduc de Belchamp	■	■	
→ Diffuseur n°8 de Montbéliard centre		■	■
→ Couche de roulement définitive			■

1- Inclusions rigides.
2- Carte de position des travaux.

1- Rigid inclusions.
2- Works location map.



DEUXIÈME PHASE 2011-2013 : FICHE D'IDENTITÉ

- 7 km de longueur
- Création de la troisième voie par l'extérieur
- Doublement des viaducs d'Arbouans et de Belchamp
- Reconfiguration du diffuseur de Montbéliard centre (n°8)
- Protections acoustiques sur près de 40% du linéaire
- Mise en place d'une double barrière en béton entre les deux sens
- 5 bassins de traitement des eaux

Eiffage TP Grandes Infrastructures Linéaires et Eiffage TP Rhône-Alpes achèvent en cette fin d'année 2013 les travaux d'élargissement de l'autoroute A36 à Montbéliard pour le compte d'APRR qui a déjà mis en service 19 km entre Belfort et Montbéliard à 2x3 voies en décembre 2009 (phase 1 du projet). La deuxième phase des travaux d'élargissement de l'A36, objet du présent article, a été attribuée à un groupement d'entreprises du groupe Eiffage dont le mandataire est Eiffage TP Établissement Fougerolle Ballot (Grandes Infrastructures Linéaires).

Ce projet, essentiellement en zone périurbaine, met en lumière les enjeux d'un tel chantier pour APRR, concessionnaire autoroutier, et d'analyser la complexité des contraintes qu'il implique sur l'organisation et de la réalisation des travaux pour l'entreprise. Durant cette deuxième phase, les principaux travaux sont l'élargissement de l'autoroute à 2x3 voies dans les deux sens sur les 7 km, la reconfiguration des diffuseurs pour un système d'échange plus performant et le doublement de deux viaducs existants (Arbouans et Belchamp).

CONTEXTE ET ENJEUX DU PROJET

Les travaux d'élargissement de l'autoroute A36 se situent en zone périurbaine fortement circulée. La deuxième phase a commencé début 2011 entre la sortie Montbéliard Centre (n°8) et Voujeaucourt (n°6.1).

Les travaux se déroulent du printemps 2011 à l'automne 2013 : voir planning simplifié (tableau 1 et figure 2). Il s'agit essentiellement des travaux suivants : **Élargissement de l'autoroute :** Élargissement à 2x3 voies entre le diffuseur n°8 et le diffuseur n°6.1 par la création de la troisième voie par l'exté-

rieur, dans les deux sens de circulation sur 7 km.

L'élargissement des voies est réalisé par l'extérieur sur la totalité de la section (figure 3).

Reconfiguration des diffuseurs pour un système d'échange plus performant :

- Réaménagement du diffuseur de Montbéliard centre (n°8) avec la création de deux giratoires ;
- Modifications de bretelles de sortie et d'insertion de Montbéliard Sud (n°7) et de Voujeaucourt (n°6.1), dans le sens Mulhouse vers Besançon.

Doublement de deux viaducs existants :

- Création d'un nouveau viaduc au droit de la commune d'Arbouans dans le sens Mulhouse vers Beaune ;
- Création d'un nouveau viaduc de Belchamp, en franchissement du Doubs dans le sens Mulhouse vers Beaune.

Les deux nouveaux viaducs ont été construits par Eiffage TP Rhône-Alpes (figures 4 et 5).
Les principes de doublement des viaducs sont résumés dans le tableau 2 et représentés en figure 6.

**LES ENJEUX POUR APRR
Améliorer la fluidité du trafic et le confort des usagers :**

Aujourd'hui ce sont plus de 35 000

TABLEAU 2 : PRINCIPES D'ÉLARGISSEMENT DES VIADUCS

Viaduc	ARBOUANS	BELCHAMP
Longueur	160 m	130 m
Nombre de travées	4 (3 piles, 2 culées)	3 (2 piles, 2 culées)
Tablier à ossature mixte acier-béton	oui	oui
Largeur roulable	3 voies de 3,5 m - BAU de 3 m - BDG de 1 m	

véhicules par jour qui transitent entre Montbéliard centre (n°8) et Montbéliard sud (n°7) et 30 000 véhicules entre Montbéliard sud (n°8) et Voujeaucourt (n°6.1) atteignant ainsi le seuil de gêne.

Renforcer la sécurité avec la mise à niveau, la modernisation et l'installation d'équipements de sécurité pour une meilleure sécurité et information des usagers.

Maîtriser l'impact sur l'environnement :

Le premier objectif est la lutte contre le bruit (protections phoniques sur 40% du linéaire (figures 7 et 8), ensuite la création de réseau de collecte et traitement des eaux, l'aménagement de bassins (figures 9 et 10) et enfin la protection du patrimoine, du paysage, de la faune et de la flore.

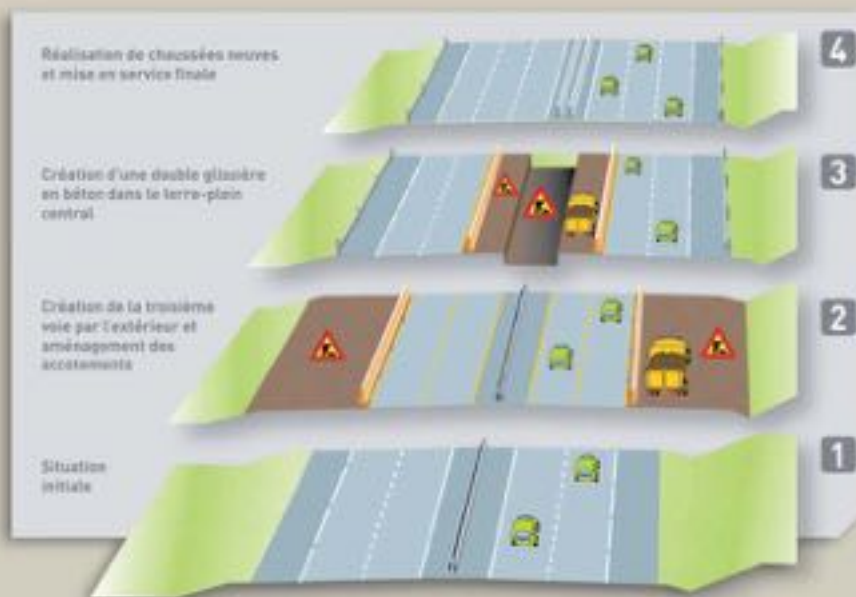
LES ENJEUX POUR EIFFAGE TP

Pour Eiffage TP, les enjeux sont à quatre niveaux :

1- La prise en compte des enjeux du concessionnaire dans la préparation, l'ordonnancement et l'exécution du projet. Cela passe par une organisation et une préparation de chantier adéquate (l'assimilation du projet par l'équipe en place car les travaux sont très morcelés, avec prise en compte des espaces réduits et de la co-activité).

2- La réalisation d'un chantier d'envergure (voir encadré chiffres clés) tout en ayant pour objectifs la sécurité des usagers, des salariés (la priorité absolue : objectif 0 accident) et la réalisation d'un chantier de qualité dans les délais impartis en intégrant au quotidien toutes les modifications de projet inhérentes aux projets péri-

PRINCIPE DE PHASAGE DE L'ÉLARGISSEMENT



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

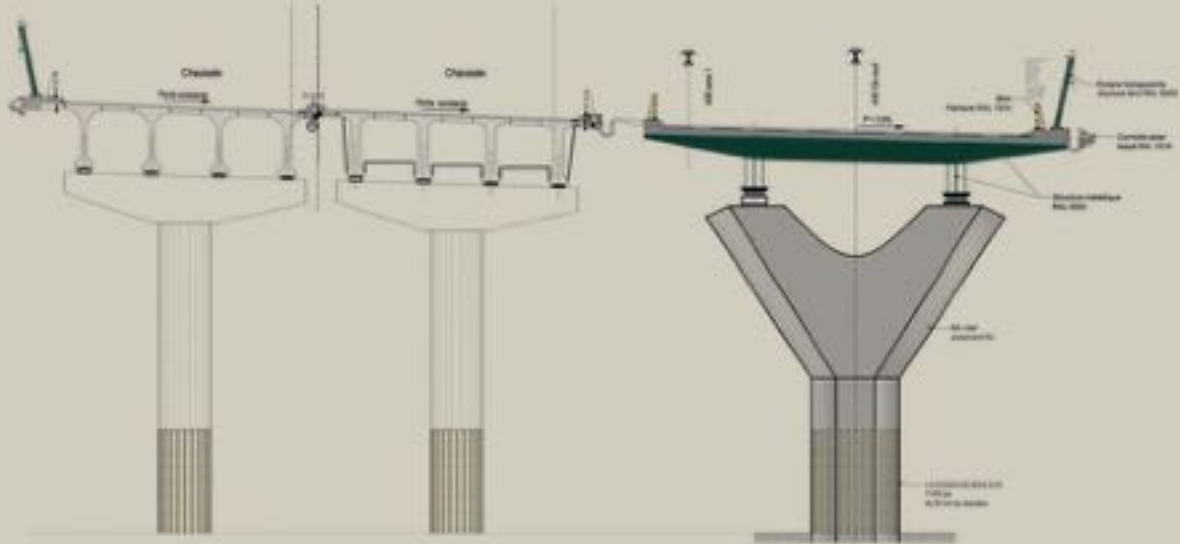
- 3- Principe de phasage de l'élargissement.
- 4- Viaduc d'Arbouans avant travaux.
- 5- Viaduc d'Arbouans après travaux (projection).

- 3- Schematic of widening work scheduling.
- 4- Arbouans viaduct before the works.
- 5- Arbouans viaduct after the works (projection).



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

PRINCIPE DE DOUBLEMENT DES VIADUCS

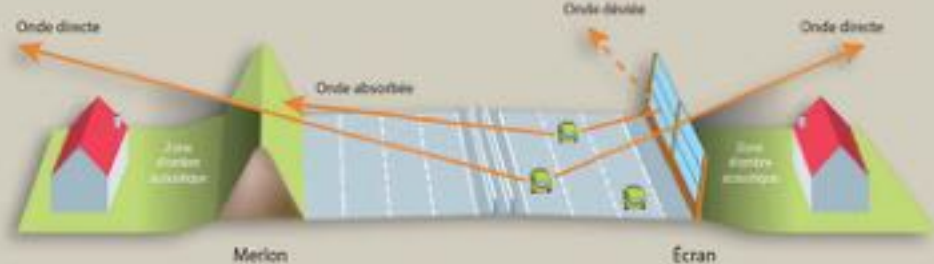


© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS
6

- 6- Principe d'élargissement des viaducs.
- 7- La protection acoustique.
- 8- Écrans antibruit.

- 6- Schematic of viaduct widening.
- 7- Protection against noise.
- 8- Noise barriers.

LA PROTECTION ACOUSTIQUE



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS
7

urbains. C'est également la prise en compte des accès difficiles, l'exécution des murs antibruit de différents types, l'enchaînement des tâches sur des espaces réduits et un planning serré. Enfin, la gestion des interfaces entre les différents métiers implique un pilotage d'une série de variables et de risques en constante évolution.

3- La réduction au maximum les impacts sur l'environnement et les riverains (poussière, bruit, vibrations, circulation, ...).

4- La maîtrise de l'aspect financier d'un projet complexe et très évolutif.

LES INTERVENANTS TRAVAUX ET LEURS SPÉCIFICITÉS

Ce chantier a fait appel aux différents métiers d'Eiffage Travaux Publics et de plusieurs de ses filiales : terrassements et assainissement, ouvrage d'art, chaussées, travaux spéciaux, équipement de sécurité et fibre optique.

Outre l'aspect ordonnancement et co-activité, chacun de ces métiers a dû faire face à un certain nombre de défis ou de contraintes spécifiques à la taille réduite du chantier et aux travaux péri-urbains. Les éléments cités ci-dessous ne sont pas exhaustifs et exposent les princi-

aux sujets rencontrés et intégrés par les différents métiers ainsi que les procédures mises en place par APRR pour que les travaux se déroulent au mieux.

Pour les terrassements et l'assainissement, il s'agit essentiellement de gérer pendant l'exécution des travaux la

découverte de dépôts de matériaux ou de décharges non prévue, la présence de karst (couche de forme et talus), l'encombrement du chantier et baisse des rendements (multiplication des équipes), la mise à disposition de terrains en zone semi urbaine contraignante, la réalisation des bassins en zone péri-urbaine réduite, la multiplication et la complexité de réalisation des murs de soutènements et des écrans acoustiques, le morcellement de l'assainissement avec des rendements réduits, la reprise assainissement provisoire et l'exécution d'inclusions semi-rigides (figures 1, 11, 12, 13 et 14).

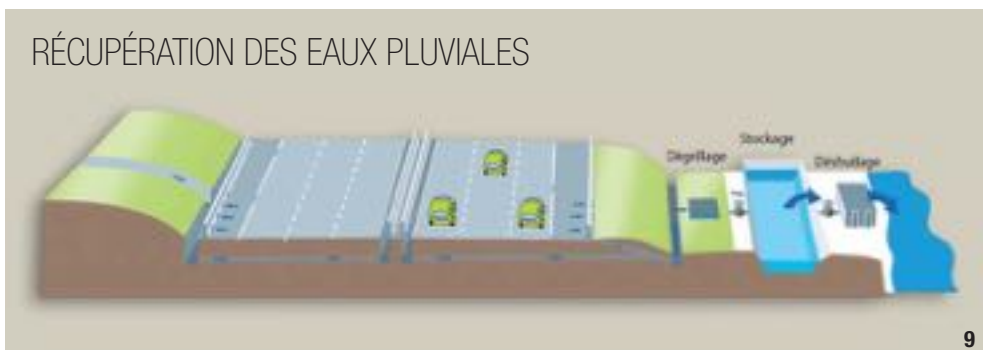
Pour APRR, il s'agissait de gérer essentiellement pour ces différents métiers la problématique du bruit (riverains), des vibrations, les relations avec les communes concernées sur les circuits de transport des matériaux et mettre en place une gestion des risques (en particulier le risque pollution) et la gêne à l'utilisateur.

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



8

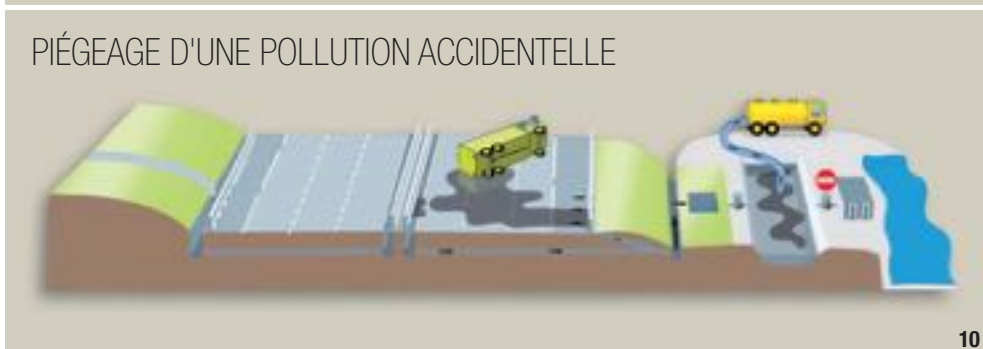
RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES



9

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

PIÉGEAGE D'UNE POLLUTION ACCIDENTELLE



10

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

- 9- Récupération des eaux pluviales.
- 10- Piégeage d'une pollution accidentelle.
- 11- Atelier de terrassements.
- 12- Murs de soutènement et écran acoustique.
- 13- Mise en place de masque.
- 14- Présence de karsts.

- 9- Rainwater recovery.
- 10- Trapping accidental pollution.
- 11- Earthmoving equipment.
- 12- Retaining walls and noise barrier.
- 13- Placing a facing membrane.
- 14- Presence of karsts.

Pour les ouvrages d'art et la fibre optique, il s'agit de prendre en compte l'exécution des piles d'ouvrage dans le Doubs, la co-activité urbaine pour les murs de soutènement, les accès aux travaux, le lançage de l'ouvrage au-dessus d'habitations ou d'activités ainsi que la présence permanente de la

fibre optique le long du tracé (figures 15 et 16). APRR devait s'assurer en parallèle de la gestion avec les collectivités des risques d'inondations, du respect par les entreprises de la conformité de la loi sur l'eau et en particulier le long du Doubs et du respect de la protection

de la fibre optique tout en planifiant avec les opérateurs les coupures (délais de prévention). **Enfin, les travaux de chaussées, spéciaux et les équipements de sécurité** ont dû faire face à la multiplication des points d'arrêts transversaux et longitudinaux (points durs tels que



11



12

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



13



14

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



15

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

viaduc, ouvrages, murs de soutènement à débiter par l'extérieur), à des largeurs de mise en œuvre variables, à la multiplication des phasages (y compris des travaux de nuit), à la météo exceptionnellement défavorable, à la difficulté des accès au chantier, en particulier pour les camions de transport d'enrobés, à la réalisation des parois clouées et des batardeaux, aux confortements de talus très longs et à la baisse des rendements moyens avec un morcellement du chantier (figures 17 à 19). De son côté APRR se doit d'assurer, en collaboration avec les entreprises, la bonne exécution des chaussées et en particulier des équipements de sécurité en prévision des inspections

15- Lançage du tablier d'Arbouans.

16- Pile dans le Doubs.

17- Mise en œuvre enrobés.

15- Launching the Arbouans deck.

16- Pier in the Doubs River.

17- Laying asphalt mixes.

de sécurité préalables à l'agrément de la mise en service de l'élargissement de l'autoroute.

LES MÉTHODES ET L'ORGANISATION

Qu'il s'agisse d'APRR ou d'Eiffage TP, ce type de travaux est l'occasion de procéder à un retour d'expérience utile et efficace afin de reproduire les méthodes et l'organisation du projet afin d'en tirer les enseignements pour les futurs projets.

Bien que les contraintes pour APRR ou Eiffage TP soient différentes, les principaux enjeux sont les mêmes : sécurité, qualité, délais et maîtrise financière. Du côté APRR et de sa maîtrise d'œu-

vre, 3 axes majeurs sont à prendre en compte :

→ **Les contraintes d'exploitation** à recaler en permanence en fonction des paramètres de l'entreprise et de l'avancement des travaux.

→ **L'information en temps réel des clients**, des collectivités locales et des acteurs économiques locaux.

→ La transmission à la DIT/GRA de l'ensemble des documents nécessaires à **l'obtention de la Décision Ministérielle autorisant la mise en service.**

Pour l'entreprise, il s'agit essentiellement de :

→ **La gestion d'un chantier péri-urbain** avec toutes les contraintes ►



16

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



17



18



19

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

- qu'il engendre : les usagers, les riverains, la sécurité, les points singuliers, le morcellement du phasage, ...
- **La maîtrise d'un chantier multi-métiers** avec un choix d'encadrement très important et décisif pour la bonne exécution des travaux.
- **La maîtrise d'un chemin critique** variant en permanence avec une co-activité très forte.
- **La gestion des conditions d'accès** aux travaux difficiles.
- **La maîtrise et la réduction** des risques vis-à-vis de l'environnement.

EN CONCLUSION

Ce projet confirme la nécessité pour le concessionnaire et les entreprises de travailler en commun afin de mener à bien le projet jusqu'à son terme. Cela passe bien évidemment par une conception forte et précise, un phasage détaillé et réaliste du projet, une implication de l'exploitant à toutes les

phases du projet et une bonne collaboration des parties (entreprise/maîtrise d'œuvre et maître d'ouvrage). De son côté l'entreprise doit être capable d'une grande flexibilité, d'adapter son planning en passant par des plages d'horaires élargies et d'avoir une organisation efficace qui puisse répondre rapidement aux nouvelles contraintes du maître d'ouvrage. □

18- Exécution de la GBA.
19- Mise en place glissières de sécurité.

18- Execution of the prestressed concrete safety barrier.
19- Installation of safety barriers.

ACTEURS DU PROJET

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** APRR
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** SETEC ALS
- TRAVAUX GÉNÉRAUX :** Eiffage TP
- INTÉGRATION ARCHITECTURALE ET PAYSAGÈRE :** Cabinet Alain Spielmann
- COORDONNATEUR SPS :** Société Présents
- ÉTUDES ACOUSTIQUES :** ACOUSTB
- ÉTUDES HYDRAULIQUES :** HYDRATEC

CHIFFRES CLÉS

- **325 000 m³** de déblais et 102 000 m³ de remblais
- **94 000 t** de grave-bitume et 53 000 t de béton bitumineux
- **6 000 m** de glissières métalliques
- **22 000 m** de séparateurs béton
- **90 000 m** de signalisation horizontale
- **1 000 t** d'acier pour les deux bipoutres

ABSTRACT

MONTBELIARD A36 MOTORWAY - THE COMPLEXITY OF SUBURBAN MOTORWAY WIDENING WORK

PASCAL DOS SANTOS, EIFFAGE TP / GIL - CHRISTOPHE LABBÉ, APRR - AMMAR TRICHE, EIFFAGE TP / GIL

At the end of 2013, Eiffage TP Grandes Infrastructures Linéaires and Eiffage TP Rhône-Alpes will complete widening works on the A36 motorway at Montbéliard for APRR. This project, 7 km long, follows a first section, 19 km long, opened in 2009. The works involve widening the motorway to a three-lane dual-carriageway in both directions over 7 km, except for the wearing course, reconfiguring the road interchanges for a more efficient interchange system, and doubling two existing viaducts (Arbouans and Belchamp). This project, mostly in a suburban area, highlights the challenges of such a project for APRR (the motorway concession operator). It entails complex work organisation and performance constraints for the contractors, which are subsidiaries of Eiffage Travaux Publics. □

A36 MONTBELIARD - LA COMPLEJIDAD DE LAS OBRAS DE AMPLIACIÓN DE LAS AUTOPISTAS PERIURBANAS

PASCAL DOS SANTOS, EIFFAGE TP / GIL - CHRISTOPHE LABBÉ, APRR - AMMAR TRICHE, EIFFAGE TP / GIL

Eiffage TP Grandes Infrastructures Linéaires y Eiffage TP Rhône-Alpes terminarán a finales de este año 2013 las obras de ampliación de la autopista A36 en Montbéliard por cuenta de APRR (concesionaria de autopistas). Este proyecto, de 7 km de longitud, es la continuación del primer tramo, de 19 km, abierto en 2009. Las obras consisten en ampliar 7 km la autopista de 2x3 carriles en ambos sentidos, exceptuando la capa de rodadura, reconfigurar los difusores para un sistema de intercambio más eficiente y duplicar dos viaductos existentes (Arbouans y Belchamp). Este proyecto, principalmente en zona periurbana, pone de relieve los retos de una obra de este tipo para APRR. Implica requisitos complejos en la organización y la realización de las obras para las empresas filiales de Eiffage Travaux Publics. □



© PHOTO THÉQUE COFIROUTE

AUTOROUTE A71 PS 82/12 COMMUNE DE VIERZON. REPLACEMENT D'UNE PILE D'UN PASSAGE SUPÉRIEUR DANS UN CONTEXTE DE SOL COMPLEXE

AUTEURS : FRANCIS BEAUVALLET, CHEF DE PROJETS OUVRAGES D'ART, VINCI AUTOROUTES, RÉSEAU COFIROUTE - JEAN MARIE CHENOT, DIRECTEUR, QUADRIC - SENG Y UNG, DIRECTEUR DE RÉGION, FONDASOL - SERGE BASNIER, DIRECTEUR DE TRAVAUX, GROUPEMENT GTM-TS/FREYSSINET FRANCE

LORS DE L'INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE D'UN PASSAGE SUPÉRIEUR AUTOROUTIER, UN DÉPLACEMENT VERS L'AUTOROUTE DE LA PILE EN TALUS A ÉTÉ CONSTATÉ. LES PREMIÈRES DÉCISIONS ONT ÉTÉ LA FERMETURE TOTALE DE L'OUVRAGE À LA CIRCULATION, LE BRIDAGE DE LA PILE AU TABLIER ET LA MISE EN PLACE D'UNE SURVEILLANCE CONTINUE (AVEC DES SEUILS D'ALERTE). LES TRAVAUX ONT CONSISTÉ À SUBSTITUER LA PILE PAR UN PORTIQUE FONDÉ SUR PIEUX ET À CONFORTER UNE CULÉE PAR MICROPIEUX TOUT EN CONSERVANT L'INTÉGRITÉ DU TABLIER, CECI DANS UN CONTEXTE GÉOTECHNIQUE COMPLEXE ET TOUT EN MAINTENANT EN PERMANENCE LA CIRCULATION SUR L'AUTOROUTE A71, AXE ORLÉANS - CLERMONT-FERRAND.

PRÉSENTATION DU CONTEXTE DE L'OUVRAGE ET PREMIÈRES MESURES D'URGENCE

Les ouvrages d'art du réseau autoroutier font l'objet d'une inspection détaillée tous les 5 ans ainsi qu'une visite annuelle.

Le mercredi 15 février 2012, lors de l'inspection détaillée du passage supérieur 82/12 de l'autoroute A71, ouvrage

situé sur la commune de Vierzon, il a été constaté un déplacement des appareils d'appuis de l'une des piles ainsi qu'une crevasse de sol. La société COFIROUTE, gestionnaire de l'ouvrage a aussitôt été alertée. Ce déplacement annoncé correspondait à un déplacement relatif du chevet de la pile P2 d'une quinzaine de centimètres côté province et de quelques centimètres côté Paris, par rapport à l'entretoise

1- Vue
d'ensemble
de la pile
remplacée.

1- General
view of the
replaced pier.

du tablier, la pile restant pratiquement verticale. Les mesures immédiates ont consisté à fermer la voie communale portée par l'ouvrage puis à analyser le dossier technique de l'ouvrage afin d'évaluer les risques. Le pont construit en 1988, d'une longueur de 76 mètres, comprend 5 travées, présente un profil en long incliné à plus de 6% ainsi qu'un biais prononcé de 140 degrés. Le tablier est constitué de 8 poutres



© PHOTOTHÈQUE AXIS-CONSEILS

2

précontraintes par pré-tension, rendues continues sur appui par l'intermédiaire d'une entretoise en béton armé.

La pile P2 concernée se situe en déblai, à proximité d'une culée C1 « perchée », fondée sur fondation superficielle.

Dès le lendemain matin, une visite sur l'ouvrage a permis aux ingénieurs de constater les désordres, tant sur la pile que sur la culée et de prendre les décisions de condamner la voie lente de l'autoroute et de poser des séparateurs bétons de niveau BT4 en limite de bande d'arrêt d'urgence.

Dans l'après-midi, lors d'une réunion en présence du maître d'ouvrage et de tous les acteurs impliqués, à savoir le géomètre (Société Axis Conseil d'Orléans), le géotechnicien (Société Fondasol Agence Ile de France Ouest), le bureau d'étude (Société Quadric de Montluel), l'entreprise (Société GTM TS du Mans) et le coordonnateur sécurité (Société IRPL de Nantes), il a été décidé en premier lieu de sécuriser les appuis de l'ouvrage sur le chevron de pile P2 et de procéder à l'injection de coulis dans la crevasse apparente en aval de la pile P2. Ces premiers travaux ont été réalisés dès le lendemain.

En second lieu il a été décidé de compléter les premières mesures de verticalité de la pile par une surveillance topographique tridimensionnelle quotidienne de l'ouvrage et d'assurer un suivi continu par une personne capable de communiquer à tout moment avec une permanence de COFIROUTE.

Durant les semaines suivantes, le suivi géométrique ayant démontré que le processus de déplacement était évolutif, des mesures de sécurisation lourdes visant à stopper les mouvements de la

2- Repères de nivellement surveillés en continu.
3- Extrait de carte géologique.

2- Continuously monitored level marks.

3- Excerpt from a geological map.



© SOURCE BRGM

3

fondation et de la tête de la pile P2 ont été mises en œuvre. Ces dispositions ont consisté à liasonner la tête du chevron de la pile P2 avec l'entretoise et à mettre en place une butée en pied de pile, butée appuyée sur un massif en béton armé coulé sur la bande d'arrêt d'urgence sur lequel il a été posé plus de 80 tonnes de lest afin d'éviter tout glissement. Des injections de coulis de blocage à travers le massif d'enrochement en aval de la pile ont complété la sécurisation afin d'éviter un entrainement éventuel de matériaux fins.

Ces travaux, hors la fin des sondages complémentaires, se sont terminés le vendredi 2 mars, soit moins de trois semaines après la découverte du glissement. La surveillance topographique tridimensionnelle du tablier et des appuis (figure 2) réalisée tout d'abord manuellement, a été robotisée à compter du 24 avril avec envoi en continu des données.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE, LES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES, LA CAUSE DES DÉSDORDRES ET LES CONFORTEMENTS

CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU SITE
Le PS 82/12 est implanté dans un déblai. Le terrain naturel présente une légère pente descendante en direction du sud/sud-ouest.

Les sols rencontrés sont constitués par des matériaux provenant de l'altération de la craie du Crétacé supérieur. Ce sont des matériaux extrêmement hétérogènes constitués d'argiles bariolées beige à verdâtres renfermant des passages sableux, pouvant présenter un faciès particulier proche d'une spongolite (roche poreuse et légère formée de spicules de spongiaires siliceux) (figure 3).

Ces matériaux sont extrêmement sensibles à l'eau et sont à l'origine de nombreux glissements de talus, en par-

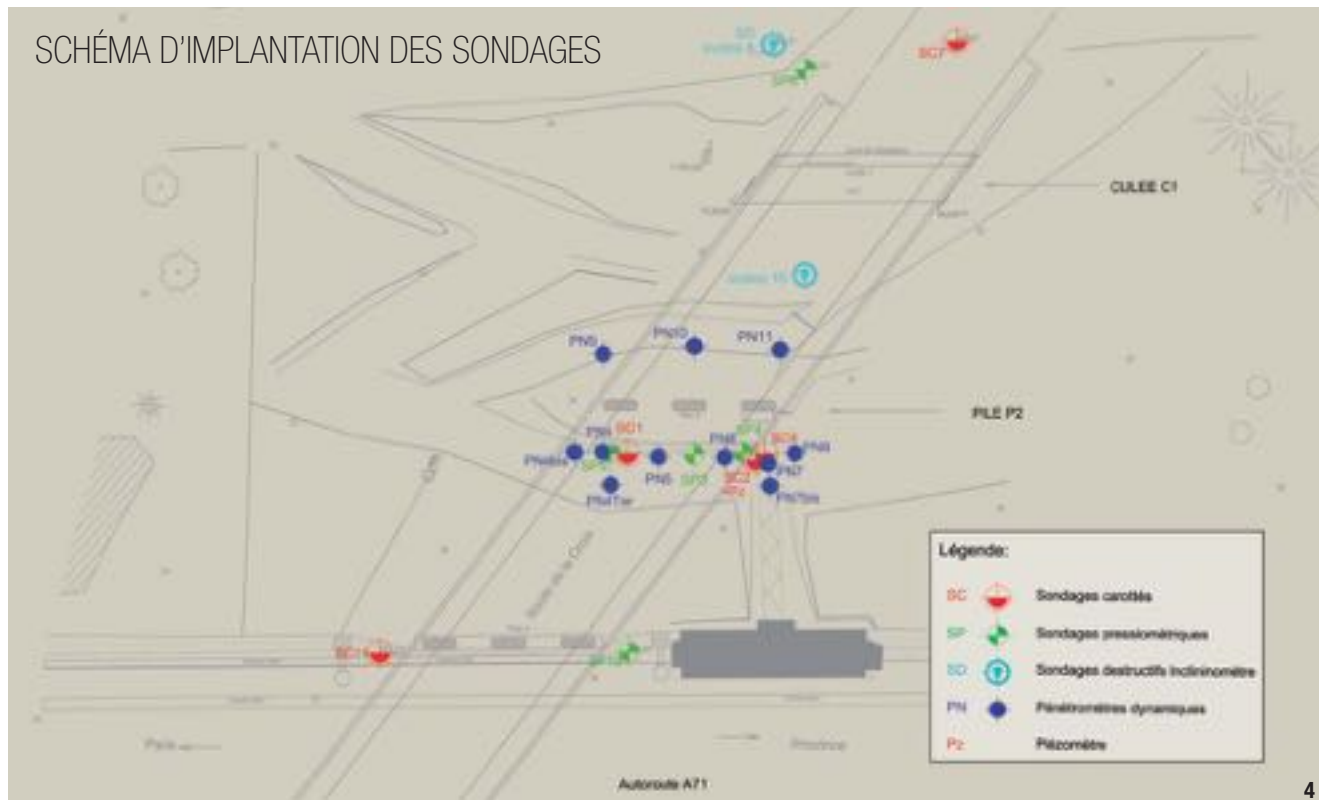
ticulier ceux localisés dans la zone de l'échangeur de Vierzon Centre sur l'autoroute A71, d'où l'appellation locale de « Vierzonite » qui est classée en argiles A3/A4 (d'après la classification GTR). Cette couverture d'altération s'étend sur une dizaine de mètres d'épaisseur (du haut du talus de déblai jusqu'au niveau de l'autoroute).

Des écoulements d'eau de pente sont observés dans le talus de déblai, à une profondeur comprise entre 1,5 m et 4 m par rapport au niveau du talus.

Ces écoulements baignent en particulier la semelle de fondation de la pile P2 qui a fait l'objet des travaux de confortement.

Le substratum de Marnes à Ostracées (alternance de marnes grises et de grès et sables verdâtres à jaunâtres), présente une pente descendante en direction de l'autoroute, avec un toit localisé entre 142 NGF et 149 NGF au droit du talus de déblai côté province - Paris. ▷

SCHEMA D'IMPLANTATION DES SONDAGES



4 © FONDASOL

CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

Les matériaux appartenant à la couverture superficielle (« Vierzonite ») ont fait l'objet d'une analyse par diffraction de rayons X.

Les résultats obtenus montrent une prépondérance de smectite (62%), en comparaison de l'illite (28%) et de la kaolinite (10%).

Les limites d'Atterberg (limite de liquidité WL = 60 à 120 ; indice de plasticité IP = 40 à 90) confirment la forte sensibilité de ces matériaux, au contact de l'eau (argiles A3/A4 selon classification GTR).

Par ailleurs, nous avons obtenu : $C' = 13$ à 24 kPa et $\varphi' = 21$ à 23°. La portance du sol d'assise des fondations de l'ouvrage a subi une baisse très sensible, particulièrement au droit de la semelle de la pile P2.

Le sondage pressiométrique de référence réalisé en 1982 (étude Ménard) a donné une pression limite nette de l'ordre de 0,8 à 1,6 MPA, alors que celui réalisé en 2012 (étude Fondasol) donne seulement 0,2 à 0,4 MPA sur 1,5 m à 2 m, en dessous du niveau d'assise de la semelle (figure 5).

La présence de cette couche « molle » est également mise en évidence par les essais de pénétration dynamique implantés autour de la pile P2 (figure 4).

CAUSE DES DÉSORDRES - CONFORTEMENTS

Compte-tenu de la direction des mouvements relevés au moyen du suivi topographique (x, y, z), l'hypothèse d'une instabilité du talus du type glissement circulaire, a été écartée.

C'est donc l'hypothèse d'une insuffisance de la portance du sol d'assise de la semelle de l'appui P2 qui a été retenue.

4- Schéma d'implantation des sondages.

5- Variation de la valeur de PI.

4- Borehole layout diagram.

5- Change in limit pressure value.

Elle s'explique par la présence d'une couche « molle » en dessous de celle-ci, dont l'existence provient d'une altération progressive des argiles au contact de l'eau.

Les calculs effectués ont montré qu'en présence de la charge de circulation, le coefficient de sécurité au poinçonnement est proche de 1 (0,96).

En l'absence de la charge de circulation (charges permanentes uniquement), le coefficient de sécurité passe à 1,38.

L'arrêt de la circulation sur l'ouvrage (absence de surcharge de circulation) s'est traduit par une stabilisation des déformations (x, y, z) mesurées.

Le confortement consiste à réaliser des nouveaux appuis de part et d'autre du tablier existant.

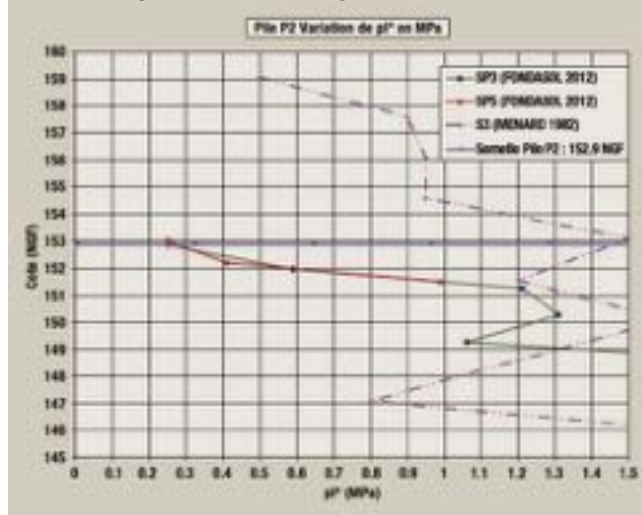
Ces appuis sont fondés sur des pieux forés ancrés dans les « Marnes à Ostracées » compactes.

La culée C1 a fait l'objet également de travaux de confortement au moyen de micropieux également ancrés dans les « Marnes à Ostracées ».

Pendant la phase travaux, un suivi des déformations du sol a été effectué au moyen de deux inclinomètres (un disposé en crête du talus et un à mi pente).

Ces déformations sont inférieures au centimètre.

VARIATION DE LA VALEUR DE PI



© FONDASOL

5

CONCEPTION ET ÉTUDE DE DEUX SOLUTIONS

Dès la fin des travaux de première sécurisation, le suivi « en continu » de l'ouvrage était opérationnel et la campagne géotechnique en cours de réalisation.

Les études de remise à un niveau de sécurité normal de l'ouvrage ont été menées immédiatement par le Maître d'œuvre en étroite collaboration avec le Maître d'Ouvrage, l'exploitant de l'autoroute, l'expert géotechnique et le groupement d'entreprises pressenti. Cette collaboration entre les divers intervenants a permis d'intégrer les différents aspects, souvent contradictoires dans les études, et de pouvoir déboucher sur des solutions fiabilisées sur des critères aussi divers tels que sécurité, technique, capacité portante,

6- Ferrailage liaison poutre conservée poutre reconstruite.

7- Portique pile.

8- Principe de vérinage.

9- Renforcement culée.

6- Reinforcing bars for joining the preserved girder and the reconstructed girder.

7- Pier portal structure.

8- Jacking schematic.

9- Abutment consolidation.

méthodologie d'exécution, gêne au client, délai de réalisation, coût des travaux...

Deux solutions ont été étudiées.

SOLUTION 1 - DÉMOLITION ET RECONSTRUCTION COMPLÈTES DE DEUX TRAVÉES

Seuls deux appuis sur 6 ont perdu leur capacité portante liée à la perte de caractéristiques mécaniques des argiles. Les appuis P3, P4, P5 et C6 ne présentaient pas d'insuffisance et la partie du tablier correspondante n'avait subi aucune dégradation. Ainsi la première solution consiste à conserver cette partie d'ouvrage et à reconstruire les appuis C1 et P2 ainsi que les travées correspondantes.

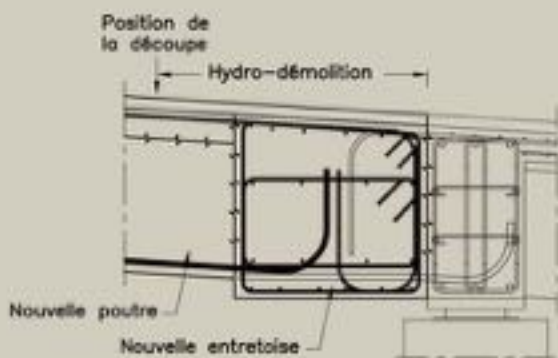
Dans cette option, et afin de déposer « en douceur » les travées 1 et 2, une

démolition par sciage en 4 morceaux était prévue. La coupe transversale de la travée 2 se faisait à 1,40 m avant l'entretoise d'appui de façon à récupérer les aciers de chapeaux venant de la travée 3 et les aciers de liaison des poutres avec l'entretoise d'appui. Ces aciers étaient dégagés par hydrodémolition (figure 6).

La culée C1 et la pile P2 étaient reconstruites sur fondation profonde, constituée de 2 x 4 pieux type PH 320 x 117. Pour des raisons mécaniques et pratiques, la coupe transversale de l'ouvrage était conservée (un fabricant possédait encore le coffrage correspondant).

Le point délicat de la connexion de la nouvelle partie avec l'ancienne se faisait par élargissement de l'entretoise sur la pile P3 côté P2. Cela permettait : ▷

FERRAILAGE LIAISON POUTRE CONSERVÉE POUTRE RECONSTRUITE



6

PORTIQUE PILE



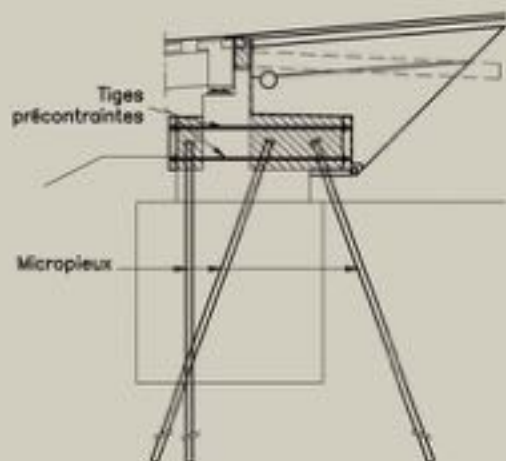
7

PRINCIPE DE VÉRINAGE



8

RENFORCEMENT CULÉE



9



10



11



12

→ De ne pas modifier le point d'application des charges sur la pile P3,
→ De pouvoir assurer la continuité BA des aciers par ancrage et recouvrement dans cette zone,
→ D'éviter le conflit des aciers croisés sortant des poutres qui était quasi ingérable car nous ne connaissions pas exactement la position des aciers de la partie conservée.
Cette zone de recouvrement comportait en réalité deux parties dont une où il n'y aurait aucun acier pouvant perturber la descente des poutres.

À partir de cette étape, la construction se continuait de façon classique.

SOLUTION 2 - REMPLACEMENT DE LA PILE P2 PAR UN PORTIQUE EN BÉTON ARMÉ ET CONFORTEMENT DE LA CULÉE C1

En constatant que le tablier n'avait pas subi de désordres irréversibles, une solution aussi fiable, légèrement moins onéreuse, plus rapide à mettre en œuvre et moins pénalisante pour la gestion de l'autoroute s'est progressivement imposée. Cette solution, visant

10- Réalisation des pieux.

11- Confortement de la culée C1.

12- Transfert de charge de P2 vers les HEB 700.

10- Pile execution.

11- Consolidation of abutment C1.

12- Load transfer from P2 to the HEB 700 beams.

à conserver l'intégralité du tablier, consiste d'une part à renforcer la culée C1 par des micropieux et d'autre part à substituer d'une façon originale, la pile P2 par un portique sur pieux.

Il est à noter que compte tenu du fait que ces travaux étaient considérés comme relevant d'une réparation « délicate », les deux projets ont fait l'objet de l'établissement d'un dossier de demande de principe adressé aux services de l'État concédant chargés de la Gestion du Réseau Autoroutier

concedé (DIT/GRA), le choix de la solution finalement retenue étant fait par le concessionnaire.

Le portique est composé de 2 semelles de 3,60 m x 3,60 m x 1 m coiffant chacune 4 pieux métalliques PH 320/117 scellés au terrain par injection au coulis de ciment d'un forage ϕ 600 mm (figure 7). Cette technique a été préférée au battage car elle évitait toute vibration à proximité de la pile en état de stabilité précaire.

Chaque semelle reçoit un voile de 3,60 m x 0,50 m x 4 m comportant une réservation centrale supportant successivement une paire de poutres provisoires constituée chacune d'un double HEB 700 destiné à porter provisoirement le tablier pendant les opérations de démolition des fûts et du chevêtres de la pile P2, puis une entretoise en béton armé d'une longueur de 16,30 m et d'une section de 2 m x 1 m.



13a
© QUADRIC



13b
© QUADRIC

Les différents transferts de charges de la pile P2 sur les profilés puis des profilés sur l'entretoise ont été réalisés par des opérations de vérinage (figure 8). La culée C1 est renforcée par 3 lignes de micropieux, deux verticales et un

troisième inclinée pour reprendre les efforts horizontaux (figure 9). Les 36 micropieux ϕ 200 mm armés d'un tube 109/127 ont une longueur d'environ 27 m et sont ancrés dans les argiles. Ils sont scellés en partie haute

dans deux poutres BA coulées au-dessus de la semelle de la culée et liés à celle-ci par 32 barres de précontrainte ϕ 36 mm et ϕ 28 mm. Ces travaux ont nécessité la démolition puis la reconstruction des murs \triangleright

- 13- Démolition de la pile P2.
- 14- Ferrailage de la méga-poutre.
- 15- Vérinage de l'ouvrage.

- 13- Demolition of pier P2.
- 14- Mega-beam reinforcing bars.
- 15- Structure jacking.



14
© QUADRIC



15
© QUADRIC

drapeaux en retour et d'une partie de remblais technique. Néanmoins, la géométrie de ces dispositions permettait de maintenir la tranchée drainante réalisée en 1994 et d'éviter l'interférence des micropieux avec les pieux de la pile P2.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX DANS UN CONTEXTE DE SOL COMPLEXE

Aucun accès permanent ne permettant de parvenir à l'ouvrage depuis l'A71, des pistes d'accès ont été réalisées via la voie communale portée. Le contexte géotechnique sensible au voisinage de la pile a nécessité une étude géotechnique particulière afin de contrôler la portance du sol et les transmissions des efforts sur les fondations de la pile lors de l'utilisation d'engins lourds (foreuse de 50 tonnes).

Lors de la réalisation des pieux (figure 10), les 5 premiers mètres ont été tubés afin de limiter les risques de venue d'eau des nappes perchées et de déstabilisation des matériaux sous la semelle de la pile.

La réalisation des fondations du portique s'est déroulée en même temps que l'exécution des micropieux de confortement de la culée C1. La file de micropieux coté tablier a été mise en œuvre en perçant à travers la dalle du tablier (figure 11). Une autre file a nécessité le pré-forage du massif de gros béton d'une épaisseur de 3 m situé sous la culée.

Les deux traverses provisoires en double HEB700 ont été mises en place

à l'aide de 2 grues de 100 t placées sur la chaussée de l'A71 en basculement. Des vérins ont ensuite été installés sous chaque poutre du tablier au droit des renforts d'âme des caissons (figure 12). Lors de cette prise en charge du tablier, les HEB ont, conformément aux calculs, pris une flèche de 45 mm avant de reprendre les efforts du tablier.

Une fois le tablier reposant sur les profilés, la pile P2 a été démolie dans l'encombrement des caissons HEB 700 et des butons SL40 mis en place lors de l'intervention d'urgence (mars 2012). Pour cette opération le chevêtre de la pile a été découpé en 3 parties et suspendu à un tripode placé sur le tablier par des élingues passant au travers le hourdis. Le poteau est alors découpé en plusieurs sections. Les blocs de béton sont descendus au sol tandis que le chevêtre, toujours suspendu, est déposé une fois le poteau démolé (figures 13a et 13b). Cette opération a été répétée 3 fois et les résidus de béton ont été évacués via l'A71.

La méga poutre, d'une section de 1 m x 2 m, a été réalisée dans l'encombrement des HEB 700. Le coffrage d'une superficie de 90 m² a nécessité une tour d'étalement posée sur les anciennes fondations de la pile, complétées par un coulage béton. Après l'installation des 6,5 t de ferrailage (figure 14), le coulage des 35 m³ de béton a été réalisé grâce à des pipes de bétonnage du fait du faible espace de travail. Une fois la résistance minimale du béton obtenue, la phase de transfert des charges des profilés sur l'entretoise a pu débiter.

Le vérinage s'est déroulé en trois phases. La première étape a consisté au transfert de la charge des HEB 700 vers la méga poutre via des vérins placés sous le chevêtre, libérant ainsi les profilés. Le tablier reposant sur son nouvel appui a ensuite été replacé à ses cotes altimétriques de 1996 (dernière

position de référence). Le remplacement des appareils d'appuis et la réfection des bossages ont été réalisés lors de la troisième phase du vérinage avec un soulèvement de la totalité du tablier de 5 cm (figure 15). S'en est suivie la réfection de l'étanchéité, couche de roulement et des joints de chaussée. □

DÉTAILS DE L'OPÉRATION

LOCALISATION : A71 - Vierzon - PS 82/12 - PR 180 + 722

MONTANT DU CONTRAT DE TRAVAUX : 1 350 000 € HT

DURÉE DES TRAVAUX : 7 mois

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : COFIROUTE

MAÎTRISE D'ŒUVRE : QUADRIC

ENTREPRISE : GTM Travaux spéciaux / FREYSSINET FRANCE

BUREAU D'ÉTUDE STRUCTURE : ECS

BUREAU D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ET AMO : FONDASOL

CONTRÔLES EXTÉRIEURS : Ingérop et Géos

CONTRÔLE TOPOGRAPHIQUE : AXIS-Conseils

PRINCIPALES QUANTITÉS

PISTE : 1 000 m³ remblai concassé / 220 m³ de calcaire

CULÉE :

- Micropieux : 26 unités de longueur 26 m / 21 m³ de coulis

- Massifs : 20 m³ de béton / 3,5 t d'acier / 32 barres de précontrainte diam. 32

PILE :

- Pieux : 40 m³ de béton / 8 HEB 300 longueur 18 m Ø 600

- Semelles : 25 m³ de béton / 3,5 t d'acier

- Poteaux : 10 m³ de béton / 1,5 t d'acier

- Mégapoutre : 35 m³ de béton / 6,5 t d'acier

ABSTRACT

A71 MOTORWAY OVERPASS 82/12, VIERZON DISTRICT. REPLACEMENT OF AN OVERPASS PIER IN A COMPLEX SOIL CONTEXT

FRANCIS BEAUVALLLET, VINCI - JEAN MARIE CHENOT, QUADRIC - SENG Y UNG, FONDASOL - SERGE BASNIER, GTM-TS/FREYSSINET

On Wednesday 15 February 2012, during the routine detailed inspection of an overpass on the A71 motorway, a transverse movement toward the motorway was noted on one of its embankment piers supported on shallow foundations. The first decisions were to completely close the structure to traffic, to clamp the pier to the overpass deck and to establish continuous monitoring (with alert thresholds). The design work to restore a normal safety level for the structure was carried out immediately. The solution adopted was to replace pier P2 with a portal structure supported on pile foundations and to consolidate abutment C1 with micropiles while preserving the integrity of the deck. The works were carried out in a complex geotechnical context while constantly maintaining traffic on the Orléans-Clermont-Ferrand branch of the A71 motorway, for a period of 7 months. □

AUTOPISTA A71 PS 82/12 MUNICIPIO DE VIERZON. SUSTITUCIÓN DE UN PILAR DE UN PASO ELEVADO EN UN CONTEXTO DE SUELO COMPLEJO

FRANCIS BEAUVALLLET, VINCI - JEAN MARIE CHENOT, QUADRIC - SENG Y UNG, FONDASOL - SERGE BASNIER, GTM-TS/FREYSSINET

El miércoles, 15 de febrero de 2012, durante la inspección detallada periódica de un paso elevado de la autopista A71, se observó un desplazamiento transversal hacia la autopista de uno de sus pilares en talud apoyado en la cimentación superficial. Las primeras decisiones que se tomaron fueron el cierre total de la estructura a la circulación, el embrizado del pilar al tablero y una vigilancia continua (con umbrales de alerta). Inmediatamente se realizaron los estudios de adaptación a un nivel de seguridad normal de la estructura y la solución adoptada fue la sustitución del pilar P2 por un pórtico sobre pilotes y la consolidación del estribo C1 con micropilotes conservando la integridad del tablero. Las obras se desarrollaron en un complejo contexto geotécnico manteniendo permanentemente la circulación en la autopista A71, eje Orléans - Clermont Ferrand, durante 7 meses. □



1
© PHOTO THÉÂTRE ARCADIS

LGV SEA VIADUCS À VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS

AUTEURS : PEYO CORDOVA, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION - JULIEN CRESPIY, DIRECTEUR DE TRAVAUX, DODIN CAMPENON BERNARD - OLMIER HELAS, COORDONATEUR ÉTUDES TRAVAUX, DODIN CAMPENON BERNARD - PATRICE ELLO, CHEF DE PROJET ÉTUDES, ARCADIS - ÉTIENNE DEPALLE, ADJOINT ÉTUDES, ARCADIS - AMÉLIE GRESILLE, ADJOINT ÉTUDES, ARCADIS - MOUNIR BEN KACEM, CHEF DE PROJET ÉTUDES, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - BÉNÉDICTE PICH, CHEF DE PROJET ÉTUDES, CAMPENON BERNARD DODIN - PHILIPPE DHIVER, CHEF DE PROJET ÉTUDES, STRUCTURES ENGINEERING

LA TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DE PONTS À L'AIDE DE VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS POSÉS À L'AVANCEMENT AVEC UN MAT DE HAUBANAGE PROVISoire A ÉTÉ DÉVELOPPÉ DANS LES ANNÉES 70 PAR CAMPENON-BERNARD, ENTREPRISE À PRÉSENT INTÉGRÉE AU GROUPE VINCI. UTILISÉE AVEC SUCCÈS LORS DE LA RÉALISATION D'UNE QUINZAINE D'OUVRAGES ROUTIERS, CETTE MÉTHODE ÉTEND SON CHAMP D'APPLICATION AUX PONTS FERROVIAIRES, EN PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES SPÉCIFIQUES À CE TYPE D'OUVRAGES.

LE PROJET LGV SEA

La future ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique (LGV SEA) consiste en une infrastructure à double voie d'environ 300 km reliant Saint-Avertin au Sud de Tours à Ambarès-et-Lagrave au nord de Bordeaux, le long de laquelle

viennent se greffer des raccordements d'une longueur totale de 40 km.

Cette nouvelle ligne permettra d'effectuer le trajet Paris-Bordeaux en deux heures environ avec une vitesse de 300 à 320 km/h, avec la perspective d'atteindre dans un avenir proche une

vitesse commerciale de 350 km/h. La LGV SEA constitue un des maillons de l'axe transeuropéen, qui reliera par la façade atlantique les régions du nord de l'Europe au sud-ouest de la France et à la péninsule ibérique.

Le 31 mars 2010, le groupe VINCI

a remporté l'appel d'offre pour la construction et l'exploitation pendant 50 ans de la ligne à grande vitesse Tours-Bordeaux. Ce projet représente à l'heure actuelle un des plus grands chantiers d'infrastructures en cours en Europe. ▶

TABLEAU DESCRIPTIF GÉNÉRAL

GEOMETRIE DES VIADUCS																						
OUVRAGE	Lg. tablier	Tracé en plan	PL	Dévers du caisson, en regardant de C0 vers le sud			Nord											Sud				
				Gauche	Droit		C0	P1	P2*	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		C11			
Indre	463,2 m	Rp sur 208,5m + A1	P5-4% sur 300m + RC 20000	-1,0%	1,0%		20,7	41,5	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	35,1	26,7	
Auxerre Est	446,2 m	RC=3000m		-2,0%	-2,0%		37,0	44,2	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	37,0	
Auxerre Ouest	446,4 m	RC=6075m		-2,0%	2,0%		34,2	44,2	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	37,0	
Chartres Nord	462,1 m	RC=6075m	+ 1,40%	2,0%	4,0%		30,1	37,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	37,0	
Chartres Médière	524,0 m	RC=4425m	+ 0,45%	-4,0%	2,0%		37,0	47,0	47,0	47,0	47,0	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	47,0	47,0	47,0
Eure	452,0 m	Rp sur 40,000m + A1	-1,55% sur 100m + RC 20000	-1,3%	1,0%		37,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	
Orne	452,0 m	RC=6250m		-0,25%	2,0%	4,0%	37,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	

Les longueurs des viaducs ont les longueurs totales y compris les abutts de 1,00m

→ Sens de pose de l'ouvrage
P1* Point fixe de l'ouvrage

2

© PHOTO THÈQUE ARCAÏS

LES VIADUCS À VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS DE LA LGV SEA

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le tracé de la ligne rencontre des brèches dont le franchissement est assuré par 15 viaducs.

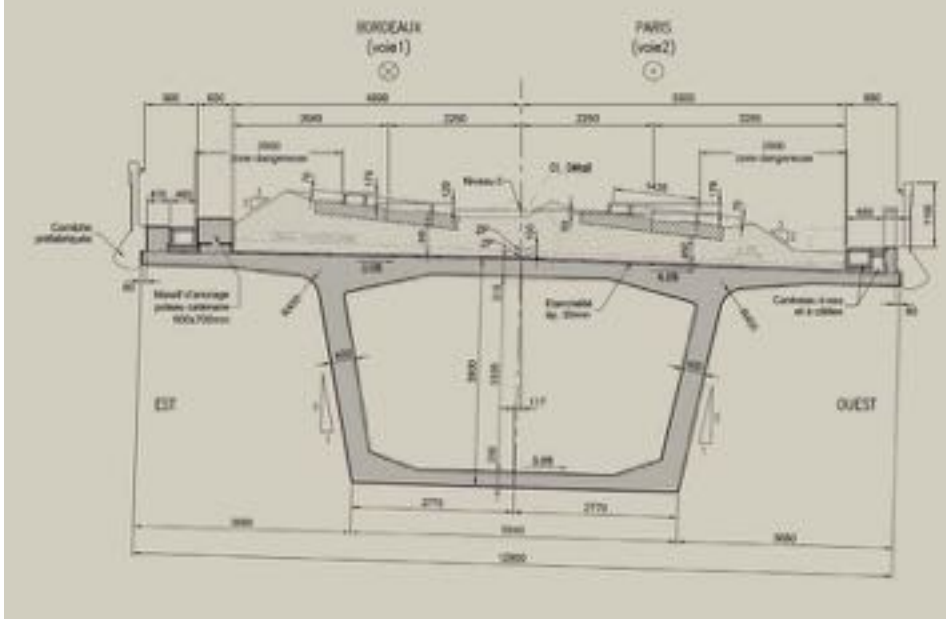
Pour 7 d'entre elles, d'une longueur d'environ 500 m, les études d'avant-projet ont montré que l'on pouvait recourir à des ouvrages comportant des travées courantes de 47 m. D'où la recherche d'une certaine standardisation tant au niveau de la définition structurelle qu'au niveau des méthodes d'exécution.

Après comparaison entre différentes solutions techniques envisageables (poussage, bipoutre mixte, ...), c'est finalement la méthode de construction à l'aide des voussoirs préfabriqués posés à l'avancement avec haubanage provisoire qui a été retenue.

La longueur des viaducs varie entre 446 et 524 m, soit une longueur cumulée de tablier de 3 270 m réalisée à l'aide de 1 340 voussoirs pesant chacun de 60 à 65 tonnes. Une usine de préfabrication installée à Coulombiers près de Poitiers produit l'ensemble des voussoirs du projet, qui sont ensuite acheminés sur les différents sites par voie routière sur parfois plus de 100 km (figure 2).

Les ouvrages comportent 9 à 11 piles dont la plus haute atteint 40 m. Les portées des travées intermédiaires sont, à quelques exceptions près, égales à

COUPE TRANSVERSALE FONCTIONNELLE



3

© PHOTO THÈQUE ARCAÏS

47 m, pour des travées de rive de longueur généralement égales à 37 m. Le tablier des ouvrages est constitué par une poutre caisson de section constante symétrique de 3,90 m de hauteur et de 12,90 m de largeur. Le hourdis supérieur présente une forme en toit avec une pente transversale de 1% assurant l'écoulement des eaux. Pour les ouvrages courbes en plan, le dévers est obtenu en imposant une pente transversale de 3% à l'ensemble de la section (figure 3).

2- Tableau descriptif général.
3- Coupe transversale fonctionnelle.

2- General descriptive table.
3- Functional cross section.

CONTRAINTES SPÉCIFIQUES AUX OUVRAGES FERROVIAIRES

La conception de viaducs ferroviaires doit prendre en compte des contraintes spécifiques non rencontrées pour des ouvrages routiers de même longueur.

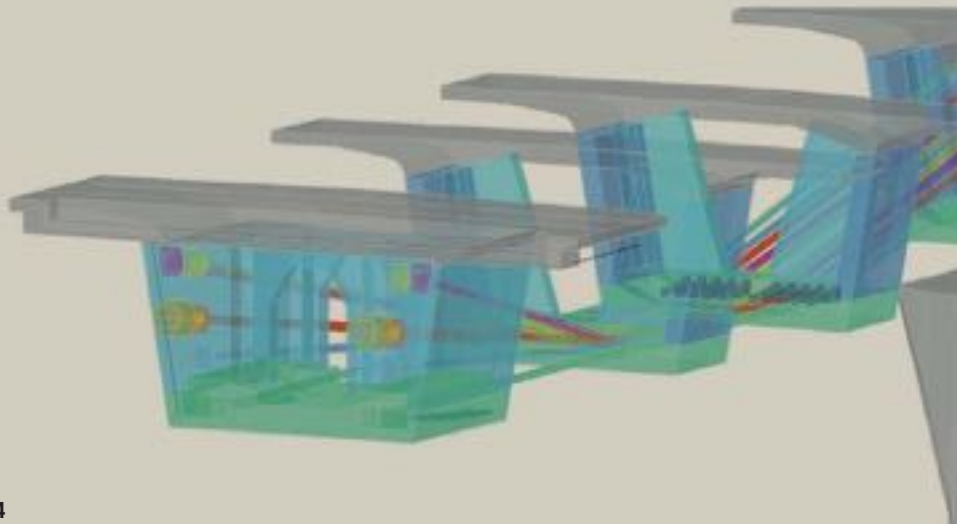
Effets du poids des superstructures et des charges d'exploitation

La première contrainte résulte du poids important des superstructures par rapport au poids propre du tablier du fait du ballast : pour fixer les idées, le poids linéique de celui-ci est égal au

MAQUETTE 3D PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE - VSC - DÉVIATEURS

© PHOTO THÉRIE ARCADIS

4



poids linéique courant du tablier, soit 230 kN/m.

Par ailleurs, les charges d'exploitation réglementaires ferroviaires sont beaucoup plus agressives que les charges routières. Pour un ouvrage présentant une distribution des travées identiques à celle des viaducs à voussoirs préfabriqués de la ligne, les valeurs maximales des enveloppes des moments fléchissant et des efforts tranchants sous charges roulantes sont beaucoup plus importantes.

Ces deux contraintes imposent un élargissement des travées beaucoup plus faible que pour un ouvrage routier : 1/12 à comparer à celui de 1/18 pour le Viaduc de Compiègne - ce qui fait de ces ouvrages des structures globalement deux fois plus sensibles aux effets de dénivellations d'appuis.

Ces contraintes conduisent également à une précontrainte importante, indépendamment des câbles rectilignes destinés à reprendre les efforts de freinage appliqués au tablier. Avec pour conséquence des situations a priori paradoxales : ainsi, après réalisation du tablier et avant pose des superstructures, l'effort tranchant exercé par une travée sur les voussoirs sur pile est dirigé vers le haut.

Effets des efforts longitudinaux

Le tablier d'un viaduc ferroviaire d'une longueur de 500 m est soumis en service à des efforts longitudinaux importants dus au démarrage et freinage des convois pris simultanément lorsque l'on considère deux voies (7 000 kN environ). Les efforts longitudinaux résultant

4- Maquette 3D précontrainte extérieure - VSC - déviateurs.

4- 3D model of external prestressing - "VSC" method - stress deviators.

d'un séisme sont également dimensionnants, du fait de la masse du tablier et de ses équipements (25 000 kN à l'ELU).

L'importance de ces efforts dicte alors plusieurs impératifs de conception :

→ Les efforts longitudinaux doivent être repris par un appui fixe, tandis que tous les autres appuis doivent être glissants ;

→ Les efforts normaux de traction qui en résultent dans les sections du tablier doivent être compensés par des câbles de précontrainte rectilignes filant sur toute la longueur de l'ouvrage.

Il est a priori logique d'adopter pour point fixe d'un viaduc l'une de ses culées. Celles-ci, plus massives que les piles, peuvent supporter plus aisément les moments de flexion résultant de l'application d'efforts longitudinaux importants. Cependant une contrainte spécifique aux ouvrages ferroviaires ne permet pas ici de retenir cette disposition classique, car l'utilisation des appareils de dilatation des voies limite les longueurs dilatables des tabliers à 450 m maximum. D'où, en définitive, la nécessité de retenir pour point fixe

une pile en prenant alors toutes les dispositions nécessaires pour que celle-ci résiste aux forces qui lui sont appliquées en tête.

Effets du séisme

À noter également que les cas de charge de séisme à l'ELS et à l'ELU s'avèrent également dimensionnants non seulement pour ce qui est des efforts longitudinaux, mais également pour ce qui est des efforts transversaux (ancrage des appareils d'appui).

Effets du poids propre du tablier

L'augmentation de la hauteur du tablier (3,90 m contre 3,20 m pour le Viaduc de Compiègne) s'accompagne d'une augmentation sensible du poids linéique du tablier, de l'ordre de 40%. D'où, des voussoirs proportionnellement plus lourds, si l'on ne veut pas réduire leur longueur, afin d'éviter d'avoir à préfabriquer et à poser un nombre plus important de voussoirs.

L'idée de réutiliser le matériel de pose (pont roulant, mât de haubanage, potence, chariot automoteur) mis en œuvre sur les projets précédents a dû alors être abandonnée, ce qui en contrepartie a permis de concevoir des équipements bénéficiant d'améliorations intéressantes par rapport aux outils de la génération précédente.

Contraintes géométriques

Pour résister aux efforts transversaux de séisme, les appareils d'appui sur piles et sur culées doivent être scellés dans le tablier par l'intermédiaire de goujons, contrairement à ce qui se pratique habituellement sur les ouvrages routiers. Une engravure a donc été

aménagée dans le voussoir sur pile central pour permettre l'introduction des goujons au moment de sa pose. Par ailleurs, l'épaisseur du mortier de scellement entre la sous-face du tablier et la platine de l'appui ne doit pas excéder 60 mm. L'examen de ces contraintes montre que, compte tenu de la longueur de pénétration des goujons, des pentes longitudinales et du dévers de 3% des ouvrages courbes, on ne peut poser ce voussoir à une altitude plus basse de 10 mm par rapport à sa valeur théorique.

On doit également respecter une contrainte relative à l'épaisseur minimum de ballast entre la sous-face des traverses et l'extrados du tablier. Celle-ci correspond à une tolérance admissible de 20 mm vers le haut dans le positionnement en altitude du voussoir.

En définitive, après accostage de la travée haubanée sur pile, le voussoir central sur pile doit être implanté avec une précision de -10/+20 mm en altitude, ces tolérances devant être respectées au droit de chacune des deux âmes. Il va sans dire qu'un tel objectif suppose une maîtrise précise et rigoureuse de la géométrie de l'ouvrage, tant au niveau de la préfabrication que de la pose.

Effet de la rigidité du tablier

La rigidité du tablier, plus grande que pour un viaduc routier, pose quelques difficultés particulières que l'on surmonte en prenant les précautions qui conviennent.

Ainsi, la position finale d'une travée dans l'espace est entièrement figée par l'implantation de son premier voussoir qui doit alors être réglé avec une extrême précision. En effet, un défaut d'orientation produisant à l'accostage sur pile une erreur de 10 mm en altitude conduit à enfermer de façon permanente dans le tablier une contrainte à mi-travée de l'ordre de 0,4 MPa, si l'on cherche à compenser cette erreur par vérinage. À noter, pour insister sur la nécessité d'une grande rigueur tout au long de la chaîne de réglage géométrique, que cette erreur de 10 mm correspond seulement à une erreur de $\pm 0,25$ mm sur l'altitude des inserts de réglage arrière et avant du voussoir à positionner.

Par ailleurs, en cours de pose, un tablier rigide est beaucoup plus sensible aux effets thermiques résultant de la différence de température entre les haubans et le béton, qu'un tablier souple. On peut néanmoins chercher à pallier cet inconvénient en optimisant le réglage de tension des haubans au moment de leur installation. ▷

L'expérience montre qu'un réglage optimisé permet ainsi de dégager une réserve de l'ordre 0,5 MPa en compression par rapport aux réglages utilisés couramment.

DESCRIPTION DES OUVRAGES

LES TABLIERS

Section transversale

Comme déjà mentionné, le tablier des sept ouvrages est constitué par une poutre caisson symétrique de section constante de 3,90 m de hauteur et de 12,90 m de largeur.

Il comporte des encorbellements d'une longueur de 3,10 m présentant une épaisseur minimale de 0,22 m à leur extrémité.

Les âmes inclinées ont une épaisseur de 0,40 m, le hourdis inférieur une épaisseur de 0,25 m. L'épaisseur du hourdis supérieur varie de 0,64 m à l'enracinement des goussets jusqu'à 0,315 m à l'axe du tablier, en passant par un minimum de 0,30 m.

Découpage en voussoirs

Le découpage du tablier en voussoirs a été choisi de façon à obtenir des éléments ne dépassant pas 65 t, ce qui correspond à la limite de capacité des matériels de manutention et de pose. De ce fait, les voussoirs sur piles (VSP) et les voussoirs sur culée (VSC), particulièrement massifs à cause de leurs entretoises, sont constitués de trois parties distinctes.

Les différents types de voussoirs

On retrouve ici les types classiques rencontrés pour tout pont avec précontrainte extérieure. On distingue ainsi :

> Les voussoirs courants

et les voussoirs avec bossages

Les voussoirs courants, d'une longueur de 2,80 m, se présentent sous la forme d'un caisson extrudé ayant pour base la section transversale du tablier, tandis que les voussoirs avec bossages comportent, en outre, des bossages qui permettent d'ancrer des câbles rectilignes noyés dans le hourdis inférieur (câbles d'éclisse).

> Les voussoirs déviateurs

Ces voussoirs, d'une longueur de 2,30 m, sont situés environ au tiers et aux deux-tiers de la travée.

Ils possèdent une poutre de déviation solidaire du hourdis inférieur qui permet de réaliser un tracé de la précontrainte extérieure ondulée en forme de ligne brisée.

Les forces résultant de la poussée au vide due au changement de direction sont transmises aux âmes par l'intermédiaire de voiles raidisseurs.

> Les voussoirs sur pile et sur culées

Ces voussoirs comportent des entretoises massives qui sont fortement sollicitées du fait de leurs fonctions multiples :

- Assurer la diffusion des réactions d'appui vers âmes ;
- Permettre l'ancrage de câbles de précontrainte (intérieurs comme extérieurs) ;
- Et pour les VSP, jouer le rôle de déviateurs pour certains câbles de précontrainte extérieure.

LA PRÉCONTRAÎTE

Unités et types de câble

La précontrainte des ouvrages est assurée par des unités Freyssinet 7T15, 12T15, 19T15, 25T15 et 27T15.

On distingue sur chaque tablier quatre types de câbles de précontrainte :

> Les câbles de fléau

Les deux premiers voussoirs d'une travée ne sont pas haubanés et constituent ce qu'on appelle le mini-fléau. Deux paires de câbles 7T15 sont alors disposés dans les hourdis supérieurs pour reprendre les moments de console dus à leur poids propre, ainsi qu'à la potence supportant un nouveau voussoir.

> Les câbles extérieurs ondulés

Ce câblage, constitué principalement d'unités 25T15 assure l'essentiel de la précontrainte destinée à reprendre les sollicitations de flexion du tablier (moments + efforts tranchants). Ancré en partie supérieure des entretoises sur pile, chaque câble règne sur deux travées consécutives en étant déviés au droit des déviateurs prévus à cet effet (figure 4).

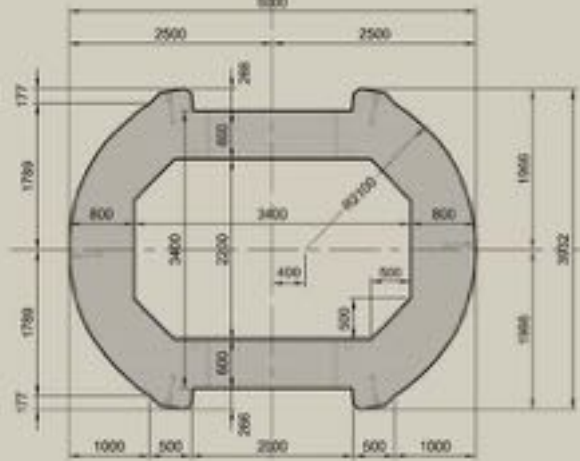
> Les câbles éclisses

Les câbles éclisses viennent compléter les deux câblages mentionnés ci-dessus afin d'obtenir des contraintes admissibles dans le tablier sous l'effet des sollicitations de flexion. Ce sont des câbles intérieurs situés dans le hourdis inférieur et constitués de deux paires de câbles 19T15 ancrés sur les entretoises des VSP filant tout le long d'une travée, ainsi que de deux paires de câbles 12T15 régnant sur les 4 voussoirs centraux des travées courantes.

> Les câbles extérieurs rectilignes

Il s'agit là d'une particularité propre aux ouvrages ferroviaires. Ces câbles constitués d'unités 27T15 et 19T15 ont pour but d'apporter une compression uniforme aux sections du tablier, afin de compenser les tractions résultant des efforts de démarrage et de freinage des convois ferroviaires, ainsi que du séisme.

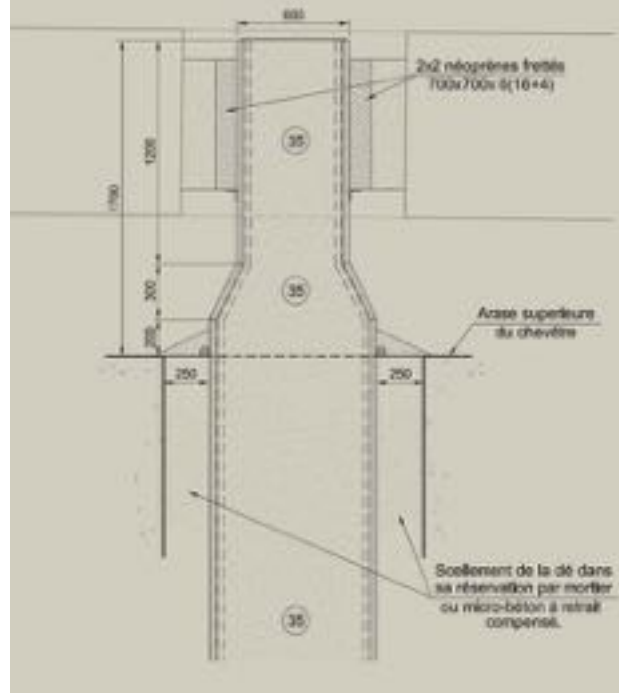
COUPE TYPE D'UNE PILE COURANTE CREUSE



5

© PHOTO THÉQUE ARCAÏS

CLÉ DE CISAILLEMENT DES PILES POINT FIXE



6

© PHOTO THÉQUE ARCAÏS

5- Coupe type d'une pile courante creuse.

6- Clé de cisaillement des piles point fixe.

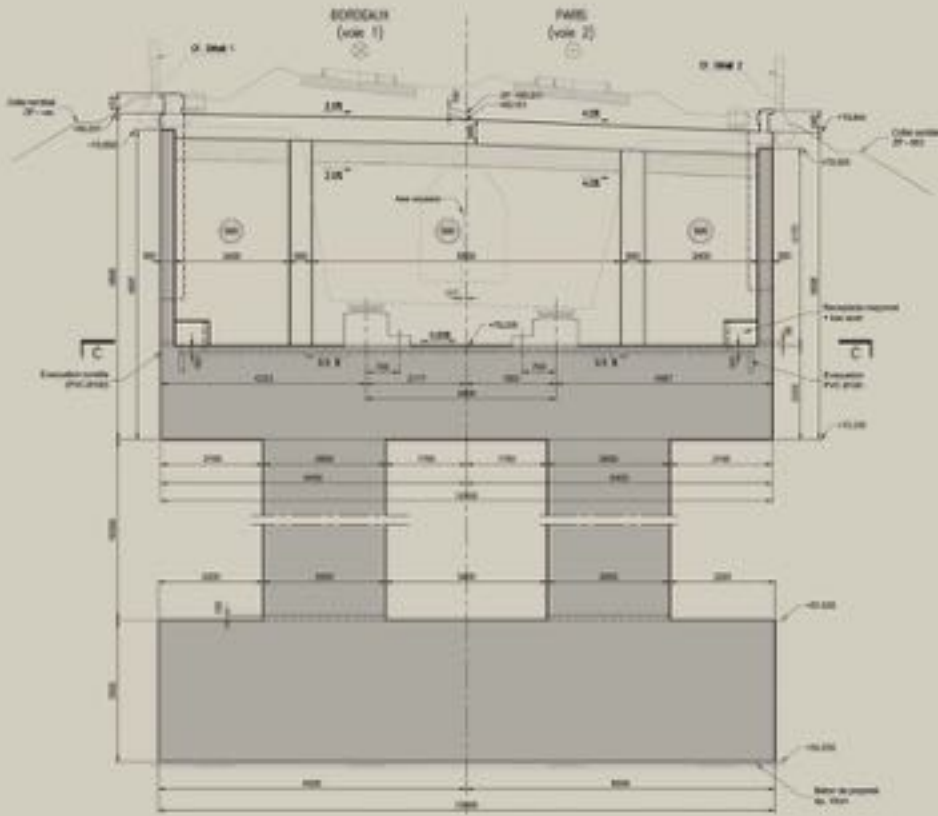
5- Typical section of a standard hollow pier.

6- Shear key on piers, fixed point.

Contrainte moyenne de précontrainte

Comme déjà mentionné, ces ouvrages présentent un niveau de précontrainte plus élevé que celui d'un ouvrage routier. Ainsi, la contrainte normale moyenne engendrée par la précontrainte au niveau du centre de gravité du tablier vaut 9,5 MPa, dont 2,5 MPa du seul fait des câbles de précontrainte extérieur rectiligne. Il est intéressant de comparer ces valeurs avec la contrainte moyenne du Viaduc de Compiègne

CULÉE PERCHÉE SUR POTEAUX



© PHOTO THÉÂTRE ARCADIS

qui vaut 8,9 MPa, pour un tablier de 3,20 m de hauteur et des portées courantes de 58,70 m.

LES PILES

Les fondations

Les types de fondation varient d'un ouvrage à l'autre en fonction des caractéristiques géotechniques du site. D'une façon générale, on rencontre le long de la ligne des couches d'alluvions ou de sables plus ou moins épaisses reposant sur un substratum calcaire très dur. Cette situation a conduit à retenir pour les piles courantes trois types de fondation :

- Des semelles superficielles de 8 m x 6 m de 3 m d'épaisseur ;
- Des fondations sur 6 pieux Ø 1,60 m liés par une semelle 8 m x 12 m de 3,20 m d'épaisseur ;
- Des puits creux circulaires de 7 m de diamètre et d'épaisseur de paroi égale à un mètre.

Les piles fixes reposent sur des semelles superficielles dont les dimensions en plan varient de 16 m x 16 m à 16 m x 25 m en fonction de la longueur des viaducs, les épaisseurs variant elles

7- Culée perchée sur poteaux.

7- Abutment perched on posts.

de 3 m à 4 m. Une exception toutefois : le Viaduc de l'Indre qui est fondé sur 8 pieux Ø 2 m liés en tête par une semelle 16 m x 16 m de 4 m d'épaisseur.

Les types de pile

Les piles des viaducs ont fait l'objet d'une attention particulière sur le plan architectural, notamment en recherchant la forme la plus adaptée à leur hauteur. Les piles basses ont ainsi été traitées avec une extrême sobriété en adoptant un fût plein de section oblongue sans chevêtre, de manière à alléger visuellement la forme des appuis.

À l'inverse, les piles hautes sont, elles, constituées d'un fût creux présentant une section en forme de rectangle oblong et couronné en tête par un chevêtre triangulaire. Une dépouille

architecturale appliquée sur les faces planes des fûts et se prolongeant sur les chevêtres souligne alors le trajet des descentes de charge.

On distingue deux types de piles suivant la fonction qu'elles remplissent. Les piles courantes munies d'appareils d'appui glissants sont soumises dans le sens longitudinal aux seules forces de frottement appliquées par ces dispositifs (figure 5). La pile fixe de l'ouvrage située à une ou deux travées de la culée, reprend alors l'intégralité des efforts longitudinaux (démarrage/freinage des convois, frottement des appuis glissants), tandis que les efforts transversaux sont répartis sur l'ensemble des piles. Le fût des piles courantes et fixe d'un ouvrage peuvent être pleines ou creuses en fonction de leur hauteur.

Les piles pleines

Les piles des viaducs de l'Indre et de la Charente Médiane dont les hauteurs varient entre 5 m et 9 m sont constituées d'un fût plein.

Les piles creuses

Les piles des viaducs des Auxances Ouest et Est, de la Charente Nord, de la

Boème, et du Claix sont creuses. Leur hauteur varie entre 15 m et 39,10 m. La pile fixe de la Charente Nord, haute de 19 m constitue un cas particulier. On a dû avoir recours à une disposition structurelle peu classique en lui adjoignant un buton incliné permettant de reprendre par la triangulation ainsi formée l'effort longitudinal appliqué en tête.

Des dispositions particulières ont été prises pour permettre la visite de l'intérieur des piles creuses. Une réservation de 100 mm de diamètre traversant le chevêtre permet d'introduire une caméra d'inspection destinée à d'observer et à photographier l'état des parements depuis l'extérieur. En outre, une ouverture, murée en situation normale, peut être utilisée pour intervenir à l'intérieur du fût en cas de nécessité.

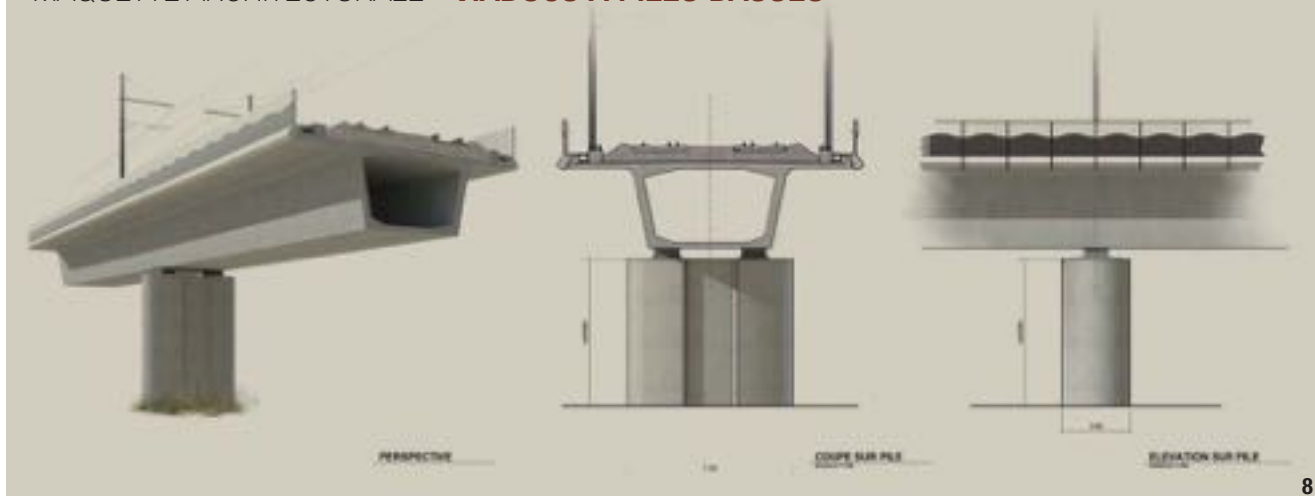
Les appareils d'appui et clés de cisaillement

Le schéma adopté pour assurer la transmission des efforts appliqués par le tablier sur les appuis est classique pour un ouvrage ferroviaire : les réactions verticales sont reprises par des appareils d'appui à pot glissants, tandis que les efforts longitudinaux sont appliqués à un dispositif spécifique prévu à cet effet.

Sur chaque pile, un des deux appareils d'appui est bloqué latéralement, afin d'assurer la reprise des efforts transversaux appliqués par le tablier (séisme, vent, force centrifuge). L'autre, en revanche, est libre de se déplacer dans les deux directions pour ne pas gêner le retrait et les dilatations du hourdis inférieur du voussoir sur pile. Les appareils d'appui doivent pouvoir être remplacés si nécessaire ; ils sont donc fixés par boulons sur des platines métalliques solidaires du tablier et de massifs situés sur le chevêtre. Contrairement à la pratique couramment admise pour des ouvrages routiers, on ne peut justifier la transmission des efforts horizontaux entre les platines et le béton par mobilisation d'un frottement à leur interface ; on a dû alors adopter un système de fixation par des connecteurs du type goujons pénétrant sur une quinzaine de centimètres à l'intérieur du béton. D'où, la contrainte de prévoir des réservations dans le hourdis inférieur des voussoirs sur pile ferrallés en conséquence.

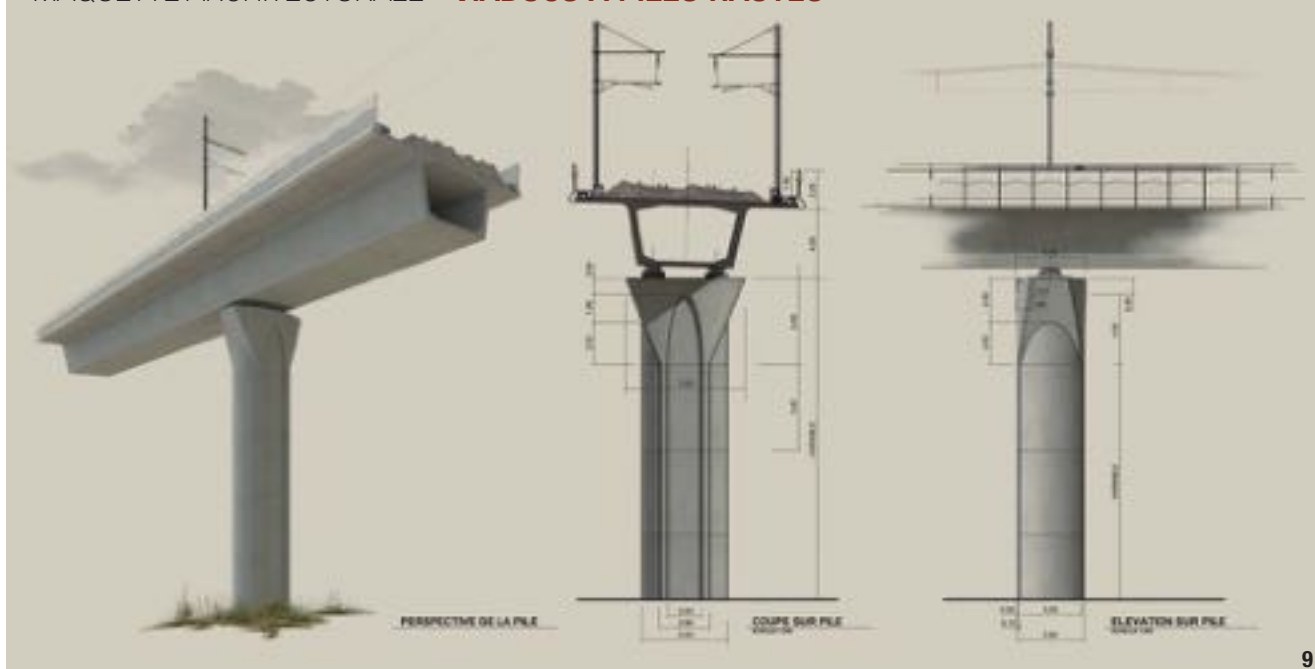
La mise au point d'une solution technique, satisfaisante au niveau du principe de fonctionnement comme à celui de la mise en œuvre pratique, s'est révélée à l'expérience être un point délicat du projet. ▶

MAQUETTE ARCHITECTURALE - VIADUCS À PILES BASSES



© LAVIGNE-CHERON ARCHITECTES

MAQUETTE ARCHITECTURALE - VIADUCS À PILES HAUTES



© LAVIGNE-CHERON ARCHITECTES

Le dispositif de blocage longitudinal du tablier sur la pile fixe est constitué par une clé de cisaillement encastrée, suivant le cas, sur 3 m à 5 m dans le chevêtre et pénétrant dans le voussoir sur pile sur 1 m d'épaisseur du hourdis inférieur. Il s'agit d'un caisson métallique multicellulaire de section 1,70 m x 0,90 m, constitué par deux semelles et six âmes, les alvéoles étant remplis in fine de béton. La dimension longitudinale de la clé passe de 0,90 m à 0,60 m sur la partie située à l'intérieur du tablier.

Le contact entre celle-ci et le hourdis est assuré par deux files d'appuis

en néoprène fretté situées de part et d'autre, qui garantissent une bonne répartition des contraintes de compression tout en laissant la section sur pile libre de tourner (figure 6).

La clé de cisaillement introduit dans le chevêtre des efforts importants, jusqu'à 25 000 kN à l'ELU sismique, que l'on équilibre essentiellement par des tirants d'armatures disposés suivant le sens longitudinal de l'ouvrage. D'où une densité de ferrailage importante des chevêtres - atteignant jusqu'à 300 à 400 kg/m³ dans la tranche supérieure de 0,60 m du chevêtre, comme c'est le cas pour le viaduc de la Charente Nord.

8- Maquette architecturale - viaducs à piles basses.

9- Maquette architecturale - viaducs à piles hautes.

8- Architectural model - viaducts with low piers.

9- Architectural model - viaducts with high piers.

LES CULÉES

Les fondations

Comme déjà mentionné, les caractéristiques géotechniques du site varient de façon sensible d'un ouvrage à l'autre, ce qui a conduit à adopter plusieurs types de fondation pour les culées :

- Des semelles superficielles de 12,90 m x 8 m de 1,80 m d'épaisseur ;
- Des fondations sur 5 pieux Ø 1,20 m liés par un sommier de 12,90 m x 6,20 m de 2 m d'épaisseur ;
- Des semelles superficielles supportant des culées perchées sur poteaux.

Les dimensions des semelles des culées perchées varient entre 8 m x 12 m pour les plus petites à 13 m x 15 m pour les plus grandes, avec pour épaisseurs respectives 2,50 m et 3 m (figure 7).

Les élévations

Les culées comportent un mur garde-grève de 5 m de hauteur et de 0,50 m d'épaisseur, raidi par deux nervures de section 0,50 m x 1,50 m. Celui-ci présente en tête une casquette qui sert suivant le cas de base de fixation du joint garde-ballast ou bien d'écran sous le joint à couteau ou le joint en T. Les culées sont fermées latéralement par des murs de 0,30 m d'épaisseur qui jouent à la fois un rôle esthétique et pratique : contenir les remblais contigus. Elles se prolongent à l'arrière par des murs drapeaux de 0,50 m d'épaisseur présentant un parement architectural réalisé à l'aide de la matrice cannelée Riviera de la société Reckli.

LES ÉQUIPEMENTS

Les joints d'extrémités

Les tabliers comportent à leurs extrémités des joints dont le but est de permettre leur dilatation tout en retenant le ballast. Les joints garde-ballast sont installés à l'extrémité opposée au point fixe et présentent un soufflé important atteignant 0,800 m pour le viaduc le plus long, la Charente Médiane.

Du côté du point fixe, on utilise des joints à couteau dont le soufflé est plus modeste, de l'ordre de 0,300 m ou des joints en T qui peuvent être utilisés pour des longueurs dilatables inférieures à 60 m.

Les écrans latéraux

Les deux bords du tablier sont munis d'écrans latéraux filant sur toute sa longueur. Leur rôle est multiple : retenir le ballast, assurer la fonction d'écran anti-bruit et de garde-corps, réaliser une corniche mettant en valeur le profil fini de l'ouvrage.

Les écrans sont constitués d'éléments préfabriqués en béton de 2,50 m de longueur, leur hauteur variant de 1,10 m à 2,25 m suivant les sites. Leur parement est ouvragé en utilisant la même matrice Riviera que pour les murs drapeaux des culées. Les écrans sont couronnés par une main courante en acier galvanisé.

Les équipements d'inspection et de maintenance

Plusieurs dispositions ont été prévues pour faciliter les opérations d'inspection et de maintenance de l'ouvrage. Ainsi, l'intérieur du tablier est équipé d'un système d'éclairage constitué par des tubes fluorescents disposés tous les 10 m.

Un trou d'homme placé à l'aplomb de chaque pile courante permet d'accéder aux chevêtres par le tablier, ce qui facilite grandement les opérations de contrôle des appareils d'appui.

L'opérateur de maintenance dispose également d'une « baignoire » de visite

intégrée en tête des chevêtres des piles courantes lui permettant de stationner sous le tablier debout entre les appareils d'appuis. Des prises de courant de 220 V et 380 V sont disposées à l'intérieur du tablier au voisinage des piles, de manière à pouvoir facilement alimenter le chevêtre en électricité, si nécessaire.

Sureté et sécurité

L'accès à l'intérieur du tablier s'effectue par les deux culées d'extrémité de l'ouvrage. Celles-ci sont protégées par un grillage anti-intrusion renforcé par un barreaudage métallique, l'entrée se faisant par une porte métallique.

Les têtes de pile sont équipées de garde-corps et de quatre anneaux de fixation de harnais, afin d'assurer la sécurité des personnels lors des interventions.

La protection contre les courants vagabonds

L'ensemble des éléments métalliques faisant partie de l'ouvrage est mis à la terre, depuis les armatures des pieux, en passant par les armatures et les câbles de précontrainte du tablier, jusqu'aux différents équipements métalliques du viaduc : appareils d'appui, clé de cisaillement, garde-corps, ...

L'INTÉGRATION ARCHITECTURALE

Il était important pour un projet comme la LGV SEA de porter une attention toute particulière à l'architecture des ouvrages d'art, qui constituent en quelque sorte la signature de cette nouvelle ligne. C'est pourquoi, dès l'avant-projet le cabinet d'architecture LAVIGNE-CHERON Architectes a été

associé à la conception des viaducs, alors même que les grandes options techniques étaient encore en gestation. En ce qui concerne les sept viaducs   voussoirs préfabriqués, la recherche architecturale a essentiellement porté sur les piles et sur les écrans. Comme d j   mentionné, deux types différents de piles ont été ainsi retenus en fonction de leur hauteur : des piles pleines et sobres pour les piles les plus courtes, des piles creuses avec un travail architectural pour les mettre en valeur pour les piles les plus hautes (figures 8 & 9). Le motif adopté pour le parement des écrans et des murs drapeaux des culées rappelle des vagues, évoquant ainsi l'Atlantique auquel se réfère le nom de la nouvelle ligne (figure 10).

RÉALISATION DES TRAVAUX LE PROGRAMME DES TRAVAUX

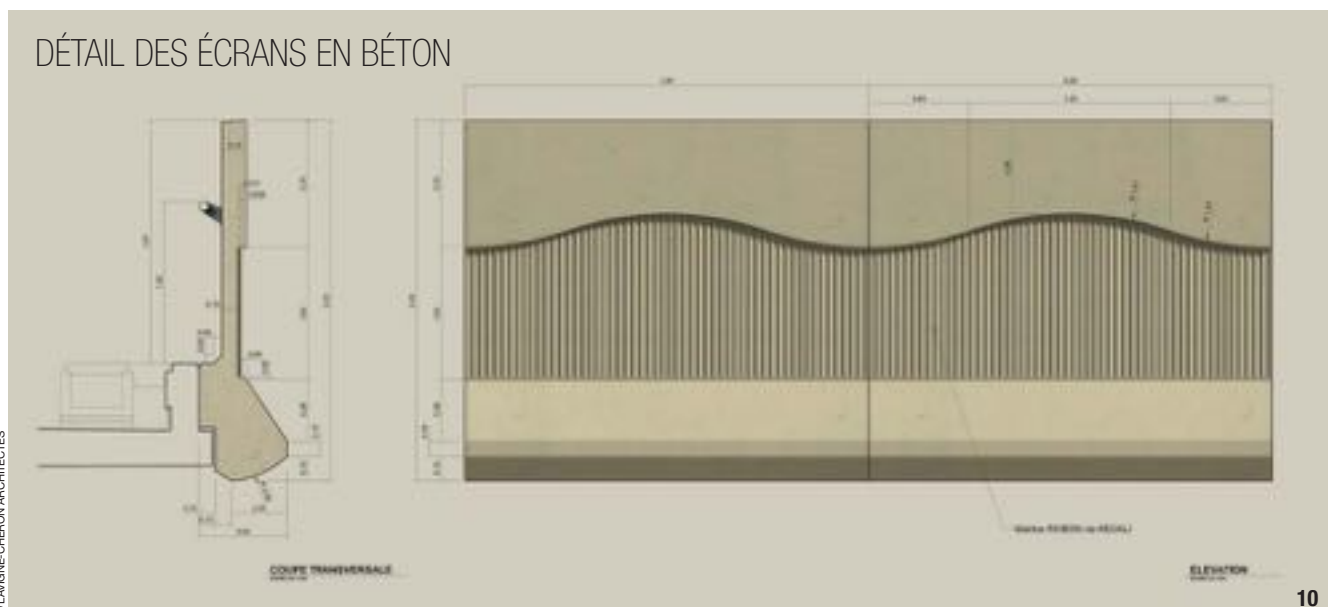
Le programme des travaux des sept viaducs faisant l'objet de cet article est essentiellement dicté par le planning global de la construction de la nouvelle ligne. L'ensemble des ouvrages doit être livré début 2015 pour une mise en service de la LGV Paris-Bordeaux prévue en 2017.

Cette contrainte de délai a alors imposé un doublement du matériel de pose : mât de haubanage, potence, automoteur, les opérations de pose s'effectuant elles en deux postes.

La préfabrication des voussoirs a débuté en juillet 2012 et s'achèvera en juillet 2014, ce qui correspond en moyenne à 6 mois de production pour fournir l'ensemble des voussoirs d'un viaduc. ▶

10- Détail des écrans en béton.

10- Detail of concrete screen walls.





© PHOTO THÉRIE COSEA-SGI

Les difficultés d'installation de chantier et de réalisation des fondations rencontrées sur certains sites ont conduit à lancer les travaux de construction très tôt pour un certain nombre d'ouvrages, comme le montre le tableau 1.

LES FONDATIONS

Tous les sept viaducs à voussoirs préfabriqués franchissent un cours d'eau. Les pieux, les puits, et les semelles ont dû alors être exécutés à l'abri de batardeaux en palplanches. Le ferrailage des semelles se déroule en plusieurs étapes : pose des nappes inférieures, puis pose des chaises, installation ensuite d'un « plancher » s'appuyant sur les chaises qui permet aux équipes d'effectuer le montage des nappes supérieures (figures 11, 12 & 13).

LES APPUIS

Les armatures des fûts de pile sont préassemblées sur le chantier sous la forme de cages qui sont posées à la grue. Le ferrailage de la pile fixe de la Charente Nord a nécessité une attention particulière compte tenu de sa forte densité d'armatures ; la conception des cages a en particulier été dictée par la contrainte de limiter leur poids à 4 tonnes.

Les fûts des piles creuses sont réalisés à l'aide de coffrages semi-grimpants constitués d'une coque externe et d'une coque interne et munis de passerelles de travail à différents niveaux. Un banc de préfabrication dédié a été mis en œuvre sur chaque chantier pour assembler les armatures des chevêtres, afin de pouvoir obtenir la précision imposée par leur géométrie complexe (figure 14).

Les culées sont construites en plusieurs phases. On réalise successivement le

chevêtre, les murs latéraux, les murs drapeaux, puis le mur garde-grève avec ses raidisseurs et sa casquette.

LES TABLIERS

La construction à l'avancement

La technique de construction à l'avancement consiste à réaliser le tablier d'un pont à partir d'une de ses culées, en acheminant chaque voussoir jusqu'à sa position définitive par la partie d'ouvrage déjà construite. Les voussoirs sont approvisionnés par un engin automoteur, puis sont pris en charge par une potence de manutention qui les positionne avec précision au contact de l'extrémité du tablier, afin qu'ils puissent y être rendus solidaires par brêlage. La stabilité de la travée en cours de construction est assurée en haubanant chaque voussoir courant sur un mât provisoire installé sur la première pile de cette travée et retenu par des haubans ancrés au voisinage de la pile précédente.

Après accostage de la travée sur la nouvelle pile, on met en place la précontrainte définitive tout en procédant à la détension progressive des haubans du mât.

L'étude de l'état des contraintes dans la travée en cours de construction

11- Réalisation des semelles des piles courantes.

12- Réalisation de la semelle de la pile fixe de Charente Nord.

11- Execution of the foundation slabs of standard piers.

12- Execution of the foundation slab of the Charente North fixed pier.

doit faire l'objet d'une attention toute particulière. Celle-ci est soumise avant accostage sur pile à des moments négatifs résultant du poids propre des voussoirs et du passage de l'automoteur transportant le nouveau voussoir à poser. À l'inverse, après accostage la charge roulante crée un moment positif en partie centrale de la travée. Par ailleurs, compte tenu de la raideur du tablier et de celle du système de haubanage, la structure est sensible à la fois aux différences de température entre les haubans et le tablier et aux gradients thermiques dans le tablier.

La première travée d'un pont construit à l'avancement constitue un cas particulier. On pourrait envisager de la réaliser de la même manière que les travées courantes en installant le mât sur la culée, mais cette solution nécessiterait alors de disposer d'un point fixe à l'arrière de la culée pour ancrer les haubans de retenue. C'est pourquoi, on préfère en général la construire en assemblant les voussoirs sur un cintre.

La préfabrication des voussoirs

Les 1340 voussoirs du projet sont réalisés dans l'usine de préfabrication de Coulombiers, près de Poitiers. Celle-ci est organisée autour de 3 cellules destinées à la préfabrication des voussoirs courants et de 3 cellules dédiées à la préfabrication des voussoirs sur piles et sur culées - ces derniers étant beaucoup plus longs à réaliser compte tenu de la présence d'entretoises très ferrailées (figure 15).

Le principe de la préfabrication en cellule consiste à bétonner chaque nouveau voussoir contre le précédent - alors appelé contre-moule - de façon à obtenir un joint parfaitement conjugué assurant la transmission des efforts sans concentrations de contrainte. Une fois le nouveau voussoir réalisé, le voussoir contre-moule est transféré sur l'aire de stockage à l'aide d'un portique, tandis que le nouveau voussoir prend sa place et devient le contre-moule pour le voussoir suivant.

On impose la géométrie à donner à une travée de l'ouvrage en positionnant chaque voussoir en relatif par rapport à son voussoir contre-moule. En réalité, le coffrage et le masque d'about du nouveau voussoir sont fixes, tandis que l'on règle la position du voussoir contre-moule dans l'espace en agissant sur les vérins de son châssis support, dit table XYZ.

TABLEAU 1 : LE PROGRAMME DES TRAVAUX

Viaduc	Début travaux	Fin travaux
Viaduc de l'Indre	février 2013	février 2015
Viaduc de l'Auxance Ouest	septembre 2012	juin 2014
Viaduc de l'Auxance Est	septembre 2012	août 2014
Viaduc de la Charente Nord	juillet 2012	avril 2014
Viaduc de la Charente Médiane	septembre 2012	juin 2014
Viaduc de la Boème	juin 2012	février 2014
Viaduc du Claix	novembre 2012	septembre 2014



13

© PHOTOTHÈQUE COSEA-SGI

On gère de façon précise la géométrie du tablier, à la préfabrication comme à la pose, en s'appuyant sur quatre points spécifiques des voussoirs localisés à l'aplomb des âmes et près des faces d'extrémité. Ces points sont matérialisés dans la pratique par des plaquettes métalliques noyées dans le béton, qui servent de support pour des cibles topographiques.

Après le bétonnage d'un voussoir, on procède au relevé topographique des inserts situés sur le contre-moule et le voussoir. Ce relevé et les précédents permettent de réaliser un assemblage virtuel de la travée en cours de construction, un peu de la même manière que l'on restitue une vue aérienne à partir de clichés partiels se recouvrant et comportant des points remarquables communs.

On peut donc au fur et à mesure de la préfabrication estimer les erreurs de réalisation et déterminer le réglage à adopter pour le prochain voussoir.

La maîtrise de la géométrie à la préfabrication passe par des relevés topographiques très précis, ainsi que par un traitement performant de ces données. En effet, les mesures topographiques s'effectuent sur des points rapprochés, ce qui conduit à une amplification des erreurs compte tenu des bras de levier mis en jeu.

13- Réalisation d'une culée et de la pile fixe de Charente Nord.

14- Réalisation des chevêtres des piles courantes.

13- Execution of a Charente North abutment and the fixed pier.

14- Execution of the pier caps of standard piers.

COSEA-SGI a choisi le logiciel SEGMA de la société FORMULE INFORMATIQUE pour le réglage géométrique des voussoirs à la préfabrication et à la pose. D'une manière générale, ce logiciel a été conçu de façon à fournir très rapidement et de manière fiable les diverses consignes de réglage, tout en cherchant à obtenir à chaque fois la précision la plus grande possible. Ainsi, les fichiers topographiques provenant des instruments sont directement lus par le logiciel, qui offre un outil de prétraitement des séries de mesures destiné à améliorer la précision et à éliminer le cas échéant des valeurs visiblement anormales.

En ce qui concerne la préfabrication, la méthode d'assemblage virtuel de la travée proposée par SEGMA ne s'appuie pas sur une construction géométrique spécifique faisant jouer à chaque point un rôle particulier, comme c'était le cas pour les logiciels des générations précédentes.

À l'inverse, elle repose sur un algorithme récent d'optimisation sous contraintes d'une forme quadratique, dans lequel les cordonnées des inserts interviennent tous de la même manière d'où au final, un gain en précision et en fiabilité.

En régime de croisière, la production de l'usine de préfabrication est de 15 voussoirs courants et 4 voussoirs sur pile ou sur culée par semaine.

La pose de la première travée

Le cintre utilisé se compose de deux poutres caissons en profilés reconstitués s'appuyant sur la culée et sur la première pile, ainsi que sur deux palées intermédiaires. On installe dans un premier temps l'ensemble des voussoirs sur le cintre avant de procéder à leur assemblage.

Les voussoirs sont amenés de l'aire de stockage sur site à l'arrière de la culée par un engin automoteur, avant d'être repris par une grue mobile qui les met en place sur des rouleaux Express en attente sur le cintre.

© PHOTOTHÈQUE COSEA-SGI



14



15



16

© PHOTO THÉÂTRE COSEA-SGI

Ils sont ensuite translattés jusqu'à une position proche de leur position définitive par un chariot pousseur qui se déplace sur le cintre.

La tâche critique de l'opération réside dans l'encollage des joints, qui pour une vingtaine de voussoirs prend un temps qui est loin d'être négligeable : il faut alors que l'ensemble des voussoirs soit assemblé avant que la colle appliquée sur le premier joint ne commence à polymériser.

On pallie cette difficulté en assemblant dans un premier temps les voussoirs par paires, ce qui permet de diviser par deux le nombre de joints à encoller au moment de l'assemblage final.

L'assemblage des voussoirs, ainsi que des paires de voussoirs, est réalisé à l'aide de barres de précontrainte Ø 40 qui permettent d'appliquer une contrainte quasi uniforme de 0,2 MPa sur la surface des joints et ainsi d'expurger la colle de façon efficace.

D'une façon plus précise, la cinématique d'assemblage est la suivante. Le voussoir sur culée est rendu provisoirement solidaire de celle-ci, ce qui en fait un point fixe. Les paires de voussoirs dont les faces viennent d'être encollées sont alors rapprochées en mettant progressivement en tension une paire de câbles de précontrainte éclisse filant sur toute la longueur du hourdis inférieur de la travée.

La position transversale des voussoirs sur leurs rouleurs Express, ainsi que les épaisseurs des cales destinées à reprendre les déformations du cintre doivent être déterminées avec précision, afin d'assurer un emboîtement en douceur des clés au moment de l'assemblage. Ces valeurs ont été calculées en partant de la géométrie réelle de la travée, telle qu'on peut l'appréhender au travers des relevés topographiques de la préfabrication.

Les voussoirs de la première travée des ouvrages courbes sont assemblés sans dévers transversal, celui-ci étant appliqué ultérieurement au moment du réglage de la position définitive de la travée.

Le décintrage a lieu une fois que la précontrainte a été mise en place. Il est réalisé à l'aide de deux vérins placés sur la culée et de deux vérins installés sur la pile.

La descente de la position d'assemblage à une position quasi définitive, soit environ 0,70 m vers le bas, s'effectue par courses de 0,10 m grâce à un système de cales amovibles prévues à cet effet.

Arrivé à cette étape, on procède à l'implantation précise de la travée de rive grâce à un système de vérins reposant sur une surface de glissement inox-téflon, les déplacements dans les directions X et Y étant assurés par des vérins pousseurs horizontaux s'appuyant sur le cadre d'un châssis entourant chaque vérin.

La construction de la travée sur cintre s'achève par le scellement de la partie supérieure des appuis définitifs sur le tablier à l'aide d'un mortier époxy (figure 16).

La pose des travées haubanées

Une fois la travée sur cintre réalisée, la construction des travées à l'avancement avec mât de haubannage provisoire peut commencer.

Le cycle des opérations de pose est répétitif, ce qui permet, après une phase de montée en puissance intégrant à la fois les inévitables mises au point sur site et l'apprentissage des équipes, d'atteindre un rythme de pose moyen d'une travée de 47 m par semaine.

La réalisation d'une travée haubanée se décompose selon les opérations suivantes :

15- Usine de préfabrication à Coulombiers. 16- Travée sur cintre.

15- Préfabrication plant in Coulombiers. 16- Span on centre.

- Pose et réglage du premier voussoir,
- Pose du deuxième voussoir,
- Pose des voussoirs haubanés,
- Accostage sur pile,
- Pose des voussoirs sur pile,
- Mise en tension de la précontrainte définitive,
- Détension des haubans du mât,
- Transfert du mât de haubannage sur la pile suivante, après pose des trois premiers voussoirs de la nouvelle travée.

a) Pose et réglage du premier voussoir

Le premier voussoir est pris en charge par la potence pour être présenté à quelque 0,060 m de la face du voussoir sur pile de la travée précédente. On transfère ensuite le poids de ce voussoir sur le dispositif de réglage. Celui-ci est constitué :

- Par deux poutres horizontales fixées sur le voussoir à régler et s'appuyant sur deux vérins verticaux placés sur le voussoir sur pile ;
 - Et par un système tirant-buton horizontal prenant prise sur l'entretoise du voussoir sur pile et sur la nervure verticale de ce premier voussoir.
- Cette solution conduit à un schéma d'équilibre des efforts sain, conférant une grande souplesse dans les mouvements de réglage : le poids du voussoir est repris par les vérins verticaux, tandis

que l'équilibre des moments est assuré par le système tirant-buton horizontal. Comme déjà mentionné précédemment, le réglage du premier voussoir fige l'implantation de l'ensemble de la travée dans l'espace. C'est pourquoi, il doit être réalisé avec le plus grand soin et la plus grande précision, car toute erreur de cette étape conduirait à enfermer de façon définitive des contraintes parasites dans l'ouvrage. La première précaution consiste donc à adopter au niveau de la conception, une longueur du premier voussoir la plus grande possible compatible avec les contraintes de poids, de manière à disposer d'une bonne assise de réglage. On cherchera également, comme pour la préfabrication, à obtenir les relevés topographiques les plus précis possibles en effectuant des séries de mesures en nombre suffisant.

Une fois le voussoir pré-réglé, le technicien géomètre effectue un relevé permettant de déterminer à l'aide du module Pose du logiciel SEGMA les déplacements correctifs à appliquer pour amener le voussoir à la position recherchée. Il transmet alors ces valeurs aux opérateurs qui agissent en conséquence sur les différents vérins de réglage. En réalité, le processus est itératif et converge après un petit nombre de manipulations successives. On contrôle le réglage ainsi obtenu en utilisant la fonctionnalité Simulation de SEGMA, dont le but est de déterminer les erreurs d'implantation résiduelles attendues en extrémité de travée.

On peut donc vérifier dès la pose du premier voussoir que la travée sera bien réalisée dans la fourchette des tolérances géométriques admissibles. On notera que le premier voussoir doit être réglé dans le prolongement de la déformée structurelle de la travée précédente, si l'on veut éviter d'introduire



© PHOTO THÉRIE ARCAÛS

duire des contraintes parasites dans la structure.

Le logiciel SEGMA intègre alors la valeur théorique de la rotation de la section sur pile dans le calcul des consignes de réglage, ainsi que dans celui relatif à l'opération de simulation. Les dimensions de la potence, bien plus importantes que pour un ouvrage routier, soulèvent un problème pratique nouveau : les inserts utilisés à la pré-fabrication et placés suivant une règle de bonne construction au droit des âmes sont masqués par les poutres de fixation de la potence. On a dû alors compléter sur chaque premier voussoir de travée les quatre inserts de pré-fabrication par quatre inserts dédiés à la pose. Malheureusement, ceux-ci subsistent durant le stockage des voussoirs

17- Prise en charge d'un voussoir par la potence.

18- Vérinage d'une travée en extrémité de fléau.

17- Jib crane taking up a segment.

18- Jacking a span at the end of the deck section.

des déplacements verticaux non négligeables, ce qui impose de réactualiser leurs coordonnées à partir d'un relevé topographique. Un nouvel utilitaire a été développé dans SEGMA pour permettre d'effectuer cette opération sans peine avant de démarrer l'opération de réglage. Après réglage du voussoir, on bétonne le joint de 60 mm qui le sépare du voussoir sur pile, puis l'on met en tension les barres de précontrainte qui servent à le brêler.

Ce premier voussoir et le suivant ne sont pas haubanés et constituent ce qu'on appelle le mini-fléau. Leur mode de pose rappelle la construction d'un pont en encorbellement : après mise en place du brêlage, on vient tendre sur chacun d'eux une paire de câbles de fléau droits situés dans le hourdis supérieur.

b) Pose des voussoirs haubanés

La pose d'un voussoir courant passe par la séquence d'opérations suivante :

- Amenée par l'automoteur du voussoir à poser en extrémité de tablier ;
- Prise en charge de ce voussoir par la potence ;
- Encollage des faces du joint ;
- Présentation du nouveau voussoir et brêlage sur le voussoir précédent ;
- Avancée de la potence sur le nouveau voussoir ;
- Installation et mise en tension de la paire de haubans ancrés sur ce voussoir, ainsi que de la paire de haubans de retenue correspondante (figure 17).

D'un point de vue pratique, chaque voussoir est muni de quatre réservations tronconiques traversant le hourdis supérieur dont le rôle est multiple : elles servent :

- De points de fixation pour les palonniers utilisés dans les différentes maintenances (transfert de la cellule à l'aire de stockage, chargement sur le camion de transport et sur l'automoteur, prise en charge par la potence) ;
- De points de fixation pour les poutres horizontales du dispositif de réglage pour le premier voussoir de la travée ;
- De points d'ancrage pour les haubans porteurs, puis pour les haubans de retenue.

Les haubans sont mis en tension par paliers, en admettant des déséquilibres modérés afin d'introduire une certaine souplesse dans les opérations.

La détension de la nappe de haubans la plus basse doit être réalisée suivant une procédure précise, si l'on veut éviter un glissement du pied de mât le long de la surface de contact avec le béton du tablier.

c) Accostage sur pile

L'espace disponible en tête de pile est trop petit pour que l'on puisse disposer d'un emplacement qui permette le vérinage du tablier sous ses âmes au moment de l'accostage sur pile. On doit donc s'appuyer sur des consoles provisoires brêlées sur le chevêtre ou sur le fût de la pile (figure 18). ▷



© PHOTO THÉRIE COSEB, SGI

18

Le calcul montre que, compte tenu de la position excentrée de la potence, la réaction de vérinage doit être appliquée sous une seule âme - celle bien sûr située du côté de la potence. Compte tenu des charges supplémentaires apparaissant après accostage, le tablier doit néanmoins reposer sur deux consoles. L'opération de vérinage s'effectue alors avec vérin passif accompagnant le déplacement vertical sans effort au fur et à mesure du relevage de la flèche d'extrémité du tablier.

Le dimensionnement des consoles et de leur système de fixation résulte d'un compromis entre la réaction maximale qu'elles peuvent supporter et le poids des pièces à manipuler. D'où, dans la pratique, une charge admissible de 700 kN par console. La valeur de la flèche que présente la travée au moment de l'accostage dépend de façon très sensible des conditions de température. Ainsi, pour une travée courante du Viaduc de la Boème, la flèche nominale est de l'ordre de -20 mm, mais elle peut varier sous cas de charge thermique réglementaire entre -5 mm et -40 mm. Par ailleurs, le coefficient de raideur au vérinage, qui caractérise la force à appliquer pour relever d'une unité l'extrémité du tablier haubané est de l'ordre de 170 kN/cm. Ces chiffres démontrent clairement la nécessité de maîtriser et d'anticiper la valeur réelle de la flèche à l'accostage, de manière à apporter le cas échéant les rectifications nécessaires par réglage des haubans. Ceci est d'autant plus vrai que l'on constate qu'en été, lors de variations importantes de température, la plage réelle de variation des flèches pouvait déborder de la fourchette théorique.

d) Pose des voussoirs sur pile

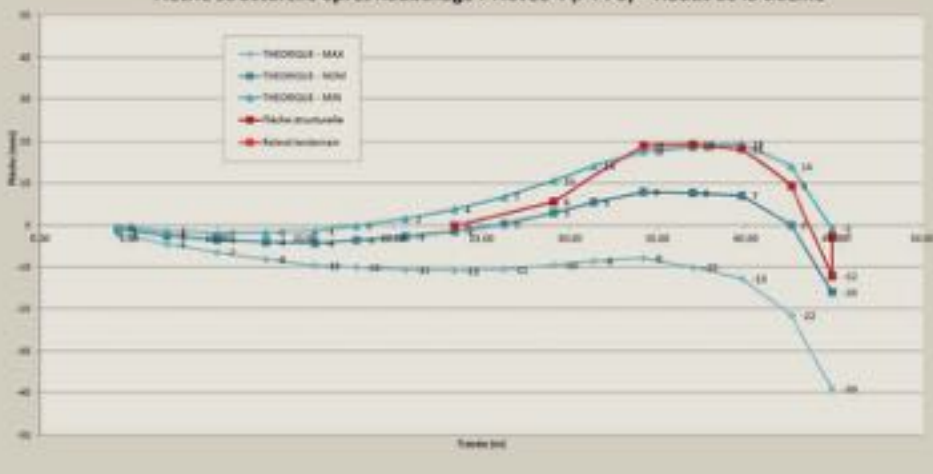
Le bloc entretoise assurant la descente des charges sur les appuis définitifs, ainsi que l'ancrage des câbles de précontrainte est constitué par trois voussoirs sur pile, désignés par VSP1, VSP2, et VSP3. Les voussoirs sur piles sont assemblés de la même façon que les voussoirs courants ; en revanche, ils ne sont pas haubanés.

Le système de haubanage et les consoles sur pile permettent de reprendre le poids du voussoir VSP1.

En revanche, le poids des voussoirs VSP2, et VSP3 doit être équilibré par un autre dispositif. On a alors recours à des vérins dits à pression constantes, qui sont reliés à une centrale hydraulique qui ajuste en continu le débit d'huile pour maintenir une réaction constante quel que soit le chargement du tablier.

SUIVI GÉOMÉTRIQUE DE LA POSE DES VOUSSOIRS

Flèche structurelle après haubanage : Travée 4 [P4-P3] - Viaduc de la Boème



19

© COSEB-SCI

Le suivi de la pose des voussoirs

a) Rappel des enjeux

Comme déjà indiqué, la position de la travée achevée est parfaitement connue dès que l'opération de simulation proposée par le logiciel SEGMA a été réalisée. On peut alors vérifier que, toutes erreurs de construction confondues (erreurs de préfabrication + précision du réglage du premier voussoir), la géométrie du tablier respecte les contraintes mentionnées ci-avant. Il reste cependant à s'assurer également :

- Que les sollicitations dans la travée en cours de construction conduisent à des contraintes admissibles avant et après accostage sur console, avec en particulier aucun risque d'ouverture de joint ;
- Et surtout que l'on n'enferme aucune contrainte résiduelle appréciable dans le tablier au moment de l'opération de vérinage.

Le principe est d'appréhender au travers de mesures topographiques la déformée structurelle propre du tablier et de la comparer au fuseau admissible déduit des enveloppes des déformations fournies par les bureaux d'études.

b) Procédure de suivi

Partant de cette idée, les responsables techniques du chantier ont mis au point, en partenariat avec Campenon Bernard Dodin Ingénierie, une procédure pratique permettant par simple relevé topographique d'obtenir cette déformée.

La flèche structurelle au droit d'un insert de la travée est déterminée à partir :

- De la valeur de son altitude mesurée sur site ;

19- Suivi géométrique de la pose des voussoirs.

19- Geometric monitoring of segment laying.

- De la géométrie réelle de la travée connue dès la fin de la préfabrication ;
- De l'orientation réelle du premier voussoir qui est donnée par le logiciel SEGMA à l'issue de l'opération de simulation.

On pourrait suivre le comportement de la travée haubanée en cours de construction en traçant sur un même graphique les courbes représentatives des flèches théoriques relatives à un état donné après la pose de chaque voussoir ; on y reporterait alors ensuite les points représentatifs des flèches structurelles résultant des mesures topographiques.

Cependant, pour des raisons de lisibilité, on préfère se limiter à une seule courbe plutôt que de considérer un faisceau constitué d'une vingtaine de courbes.

Pour ce faire, on caractérise la déformation de la travée au fur et à mesure de la pose des voussoirs par la flèche de l'insert situé le plus en avant du tablier en fonction de son abscisse.

On dispose alors d'une courbe nominale correspondant au comportement le plus probable en absence de tout effet thermique, mais aussi de deux courbes

extrêmes obtenues en intégrant ces effets (figure 19).

Le suivi de pose consiste à s'assurer que les flèches à la pose demeurent à l'intérieur du fuseau délimité par ces courbes extrêmes.

c) Correction éventuelle de la déformée de la travée haubanée

La valeur de la flèche d'extrémité de la travée au moment de l'accostage sur pile doit se situer dans une plage définie par les contraintes suivantes : elle doit être suffisante pour que l'on puisse réaliser l'opération de vérinage avec une course significative ; en revanche, elle ne doit pas être trop importante afin de ne pas charger excessivement les consoles et de ne pas créer des moments positifs à mi-travée conduisant à l'ouverture de joints.

Il peut arriver sous cas de charge thermique réel extrême que ces conditions ne soient pas respectées. On devrait alors compenser l'allongement ou le raccourcissement excessif des haubans qui en résulte par une retension ou une détension de course appliquée à chaque hauban.

Toutefois, pour des raisons d'efficacité, on préfère intervenir sur un nombre limité de haubans. Une étude d'optimisation a alors permis de déterminer la distribution des allongements à appliquer aux haubans pour obtenir un déplacement vertical donné en extrémité de travée tout en minimisant les contraintes dans le tablier.

Dans la pratique, le chantier a développé un utilitaire sur Excel qui, en cas de besoin, fournit directement les consignes de correction à appliquer.

LES ÉTUDES D'EXÉCUTION L'ORGANISATION

Les études d'exécution, structures et méthodes, ont été confiées à un groupement de bureaux d'études constitués d'ARCADIS et de plusieurs bureaux d'études du groupe Vinci : Vinci Construction Grands Projets (VCGP), Campenon Bernard Dodin Ingénierie (CBDI), et Structures Engineering (SENG).

Pour un ouvrage donné, un bureau d'études était chargé des études d'exécution structure, tandis qu'un autre assurait le contrôle externe. Bien que cette organisation semble de prime abord ne pas correspondre à la meilleure optimisation des tâches, elle s'est révélée en réalité extrêmement féconde, car elle a permis de croiser sur un même projet diverses cultures techniques, savoir-faire, et expériences. Grâce à ces différentes synergies, il a été possible de re-visiter avec profit une méthode de construction déjà éprouvée pour y intégrer les contraintes propres aux ouvrages ferroviaires et affiner certains aspects tels que le suivi du comportement de la travée en cours de pose.

La définition et l'étude des matériels spécifiques (coffrage, cellules, mât, potence, automoteur, ...) a été assurée par le service DIMT/DMPC de Vinci Construction Grands Projets, en étroite collaboration avec les responsables travaux chargés des appuis, de la pré-fabrication et de la pose.

LES POINTS SPÉCIFIQUES

Deux points des études de structure ont fait l'objet d'une attention et d'une réflexion particulières :

→ Le premier concerne l'interaction rails-structure. En effet dans le cadre de ce projet l'interaction voie-ouvrage a été appréhendée avec un modèle complet comprenant les rails, le ballast modélisé avec des ressorts à comportements non-linéaires, et les ouvrages eux-mêmes.

→ Le second, la prise en compte du séisme, notamment pour ce qui est de la définition du spectre à prendre en compte en fonction des caractéristiques géotechniques du site.

LES LOGICIELS DE CALCUL UTILISÉS

Les ouvrages ont été étudiés et vérifiés avec deux logiciels de calcul différents : ST1 du SETRA et RMBridge de Bentley. Les calculs justificatifs des ouvrages ont tous été menés conformément aux Eurocodes, qui ont parfois nécessité quelques clarifications qui ont été validées et intégrées au référentiel de la LGV SEA.

Concernant la tension dans les haubans, RMBridge permet de caractériser le réglage d'un hauban par la valeur de la force appliquée au vérin au moment de sa mise en tension.

Lors de l'étude de ponts à haubans on préfère généralement raisonner en pré-déformation ϵ , c'est à dire en longueur à vide d'un hauban.

Le langage de programmation intégré dans ST1 permet de d'effectuer ce réglage en prédéformation de manière automatisé. On détermine alors une température négative $\Delta\theta$ à appliquer au hauban considéré, $\Delta\theta$ étant fonction de ϵ et du déplacement des ancrages du hauban au moment de son activation. □

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

COÛT DES TRAVAUX : 147 millions d'euros

DURÉE DES TRAVAUX : 3 ans ½ pour l'ensemble des 7 viaducs

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE

TABLIERS :

• 3 270 m au total pour les 7 viaducs

• 10 m³ de béton par mètre linéaire de tablier soit une épaisseur moyenne de 0,77 m

• 2 150 kg d'armatures par mètre linéaire de tablier soit un ratio moyen de 215 kg/m³

• 1 340 voussoirs dont 243 voussoirs spéciaux (VSP et VSC)

PRÉCONTRAINTÉ :

• Intérieure : 15 kg/m³ de béton de tablier

• Extérieure : 35 kg/m³ de béton de tablier

APPUIS :

• 14 culées

• 46 piles creuses et 21 piles pleines

• Volume total de béton : 62 000 m³

• Poids total d'armatures : 7 000 t

INTERVENANTS DU PROJET

CONCÉDANT : RFF (Réseau Ferré de France)

CONCESSIONNAIRE : LISEA

CONCEPTEUR : COSEA

ARCHITECTE : Lavigne & Cheron Architectes

EXPLOITATION ET MAINTENANCE : MESEA

ENTREPRISES : Constructeur COSEA Sous-groupe Infrastructures

ÉTUDES D'EXÉCUTION / MÉTHODES : ARCADIS et VINCI

SOUS-TRAITANTS :

• Batardeaux : GTM TP SUD OUEST / GTS

• Pieux : FRANKI

• Armatures des appuis : EMCA / CEPABA

• Armatures des tabliers : CEPABA

• Transport des voussoirs : CAPELLE

FOURNISSEURS PRINCIPAUX :

• Cellules de préfabrication des voussoirs : ERSEM

• Mât de haubanage : CONSTRUCTION METALLIQUE PAIMBOEUF

• Potence de pose : COMTEC

• Coffrage des piles : COFRAMETA

• Logiciel de réglage géométrique : FORMULE INFORMATIQUE

ABSTRACT

SEA HSL - PREFABRICATED-SEGMENT VIADUCTS

P. CORDOVA, VINCI - J. CRESPIY, DODIN CAMPENON BERNARD - O. HELAS, DODIN CAMPENON BERNARD - P. ELLO, ARCADIS - É. DEPALLE, ARCADIS - A. GRESILLE, ARCADIS - M. BEN KACEM, VINCI - B. PICH, CAMPENON BERNARD DODIN - P. DHIVER, STRUCTURES ENGINEERING

The technique of bridge construction using prefabricated segments placed as work progresses with a temporary cable staying mast was developed in the 1970s by Campenon-Bernard, a company that now forms part of Vinci Group. It was used successfully for the execution of about fifteen highway structures, the latest of which is the Compiègne Viaduct. With the construction of seven viaducts on the SEA HSL, the scope of application of this method is extended to railway bridges, taking into account the constraints specific to this type of structure. Placing the segments began in January 2013 and will be completed in 2015, the overall objective of the project being commissioning of the line in 2017. □

LGV SEA - VIADUCTOS CON DOVELAS PREFABRICADAS

P. CORDOVA, VINCI - J. CRESPIY, DODIN CAMPENON BERNARD - O. HELAS, DODIN CAMPENON BERNARD - P. ELLO, ARCADIS - É. DEPALLE, ARCADIS - A. GRESILLE, ARCADIS - M. BEN KACEM, VINCI - B. PICH, CAMPENON BERNARD DODIN - P. DHIVER, STRUCTURES ENGINEERING

La técnica de construcción de puentes con dovelas prefabricadas colocadas a medida que avanza la obra con un mástil de arriostramiento provisional fue desarrollada en los años 70 por Campenon Bernard, empresa actualmente integrada en el grupo Vinci. Esta técnica se ha utilizado con éxito en la realización de unas quince estructuras viales, siendo la última el Viaducto de Compiègne. Con la construcción de 7 viaductos en la Línea de Alta Velocidad Sur-Europa-Atlántico (LGV-SEA), este método amplía su campo de aplicación a los puentes ferroviarios, teniendo en cuenta las exigencias específicas de este tipo de estructuras. La colocación de las dovelas, que comenzó en enero de 2013, finalizará en 2015. El objetivo global del proyecto es poner la línea en servicio en 2017. □



1

© PHOTOTHÈQUE GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

TRAMWAY DE VALENCIENNES : MAÎTRISE DE L'ALÉA « CARRIÈRES SOUTERRAINES » SOUS UN PROJET LINÉAIRE.

TRAMWAY DE VALENCIENNES LIGNE 2 - VALENCIENNES/VIEUX-CONDÉ

AUTEURS : STÉPHANE CURTIL, DIRECTEUR, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - PIERRE GUERIN, INGÉNIEUR, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ERWAN MOAL, INGÉNIEUR, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

LORS DE LA CONSTRUCTION DE LA LIGNE 2 DU TRAMWAY DE VALENCIENNES DONT LE MAÎTRE D'OUVRAGE EST LE SITURV, UN SECTEUR DE 1 KM PRÉSENTANT DES « CATICHES », ANCIENNES CARRIÈRES DE CRAIE, A ÉTÉ IDENTIFIÉ. IL S'AGIT DE CAVITÉS EN RÉSEAU CONNECTÉ, NON ACCESSIBLES. IL CONVIENT, POUR ÉVITER LE RISQUE DE FONTIS, DE LES COMBLER PAR INJECTIONS. GEOS INGÉNIEURS CONSEILS A DÉFINI UNE SOLUTION PERMETTANT DE TRAITER LES CAVITÉS ET LES ANOMALIES DE COMPACTITÉ SOUS L'EMPRISE DE LA PLATEFORME DU TRAMWAY TOUT EN MAÎTRISANT LES PERTES LATÉRALES.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

La ligne 2 du tramway permettra de relier Valenciennes au Pays de Condé grâce à un tracé en voie unique de 15,5 km qui empruntera la RD 935 sur la majeure partie de l'itinéraire. De Valenciennes à Escautpont, le

tramway empruntera l'avenue Jean Jaurès pour ensuite longer l'ancien lit de l'Escaut, à l'arrière de Fresnes-sur-Escaut. Cette liaison permettra de desservir 7 communes (Valenciennes, Anzin, Bruay-sur-l'Escaut, Escautpont, Fresnes-sur-Escaut, Condé-sur-Escaut et Vieux-Condé), soit une population

**1- Atelier
de forage et
d'injection
(Soleffi TS).**

**1- Drilling
and injection
equipment
(Soleffi TS).**

de 59 000 habitants. L'exploitation en voie unique permettra de maintenir un stationnement bilatéral sur la majeure partie du tracé.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le contexte géotechnique du secteur est celui d'un coteau crayeux sur la

berge ouest de l'Escaut. Le substratum est constitué de craie blanche du Sénonien puis de craie grise du Turolien supérieur.

Ces formations sont surmontées par une couche tertiaire du Landénien (sable vert de Grandglise et tuffeau de Valenciennes) et par une couche de remblais.

La craie a fait l'objet d'une exploitation en carrières souterraines (catiches) à l'époque médiévale, pour la fabrication de chaux (craie blanche) ou de pierre de construction (craie grise). Cette exploitation, par chambres et piliers,

s'est développée dans une relative anarchie de telle sorte qu'il est probable de rencontrer des cavités sur l'ensemble du secteur (figures 4 et 5). La présence de la nappe phréatique vers 15 à 20 m de profondeur constitue le plancher bas des exploitations qui sont établies à une profondeur ne dépassant pas 15 m.

De nombreux effondrements ont été constatés depuis le 18^e siècle jusqu'à récemment dans le secteur traversé par la ligne 2 du tramway.

Le Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain (PPRMT) pour

la région du Valenciennois inclut le secteur du tramway. Le niveau de risque est qualifié de moyen ce qui implique, pour les nouveaux projets, des dispositions constructives à définir après évaluation du niveau de risque par des reconnaissances *in situ*.

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES

En juillet 2012, les reconnaissances suivantes ont été réalisées :

- 115 sondages destructifs à 20 m de profondeur avec mesure des paramètres de forages (1 unité/10 m) ;
- 5 profils radar de 1 100 m ;
- 25 inspections vidéo en forage ;
- Examen des cartes et données d'archives.

La présence d'anomalies de type vides francs et zones décomprimées dans le sous-sol et un niveau de risque important ont ainsi été confirmés.

En mars 2013, les reconnaissances complémentaires suivantes ont été réalisées pour fiabiliser les résultats de la première campagne et préciser le niveau de risque sur certains secteurs :

- 57 sondages destructifs à 20 m de

profondeur avec mesure des paramètres de forages (1 tous les 10 m à l'inter-maille de la 1^{re} campagne) ;

- 12 sondages avec essais pressiométriques dans les horizons décomprimés identifiés lors de la 1^{re} campagne.

ANALYSE DES RECONNAISSANCES

À l'issue de la première campagne de reconnaissance GEOS Ingénieurs Conseils a réalisé une analyse du risque cavité souterraine sur le tronçon étudié (zonage du risque).

Les reconnaissances ont permis d'identifier trois configurations principales dans le sous-sol :

- Aucune anomalie identifiée (sous-sol sain) ;
- Présence de sols décomprimés ;
- Présence de vide(s) franc(s).

Ces anomalies ont été reportées sur un profil en long du tronçon de tramway étudié afin d'identifier de façon globale les zones à traiter et les possibilités d'optimisation (figure 6).

SOLUTIONS DE TRAITEMENT

En fonction des trois configurations définies précédemment, de la densité de sondages ayant détecté des anomalies et du niveau d'aléa défini au PPRMT, une première solution de traitement a été établie avec des adaptations aux types d'anomalies rencontrés :

- Aucun traitement si aucune anomalie n'est rencontrée et que la densité de sondages dans la zone concernée est suffisante pour éliminer le risque de remontée de fontis de grandes dimensions (190 m de linéaire projet) ;



2

© SITURV

2- Tramway sur voie unique.

3- Carrière souterraine sous la ligne de tramway.

2- Single-track tramway.

3- Underground quarry under the tramway line.



3

© ENTREPRISE JULY ETS



© SUPERPOSITION PPRMT / PHOTOGRAPHIES AERIENNE GOOGLE EARTH

→ Réalisation d'une plateforme de tramway « renforcée » par dalle en béton armée dans les zones d'anomalies diffuses avec un risque de présence de carrières non localisées (260 m de linéaire projet) ;
 → Consolidation des sols décomprimés par injection de mortier sous pression (240 m de linéaire projet) ;
 → Comblement des vides francs par injection de mortier sous faible pression (310 m de linéaire projet).
 La multiplication des solutions techniques rend plus complexe la mise en œuvre et l'adaptation aux conditions géotechniques réelles sur le chantier. Pour limiter les aléas d'exécution, préciser le niveau de risque réel sur certaines zones et optimiser les traitements, une campagne de sondages complé-

mentaires a été réalisée début 2013. Le zonage des risques a été mis à jour après ces sondages complémentaires et la solution de traitement optimisée pour simplifier l'exécution des travaux :
 → 620 m sans travaux spécifiques ;
 → 0 m de dalle renforcée en béton fortement armée avec remplacement par des injections localisées de mortier sous pression ;
 → 380 m de consolidation et comblement : les critères d'arrêt d'injection sont établis en fonction du type d'anomalie identifiée lors du forage nécessaire à l'injection.
 L'optimisation technique des travaux proposée par GEOS apporte des avantages économiques par réduction des linéaires traités, de délais par abandon de la solution de renforcement de pla-

4- Aléa cavité : faible à moyen (vert à rouge).

5- Carte de zonage des carrières abandonnées connues.

6- Profil en long des anomalies de la 1^{re} campagne de reconnaissance.

4- Cavity risk: low to medium (green to red).

5- Zoning map of known abandoned quarries.

6- Longitudinal profile of anomalies identified in the first reconnaissance campaign.

teforme par dalle en béton fortement armée et technique car un unique type de matériel et de matériau d'injection est employé pour toute l'opération ; les différences se limitant aux conditions d'injection : pression et débit selon les anomalies identifiées.

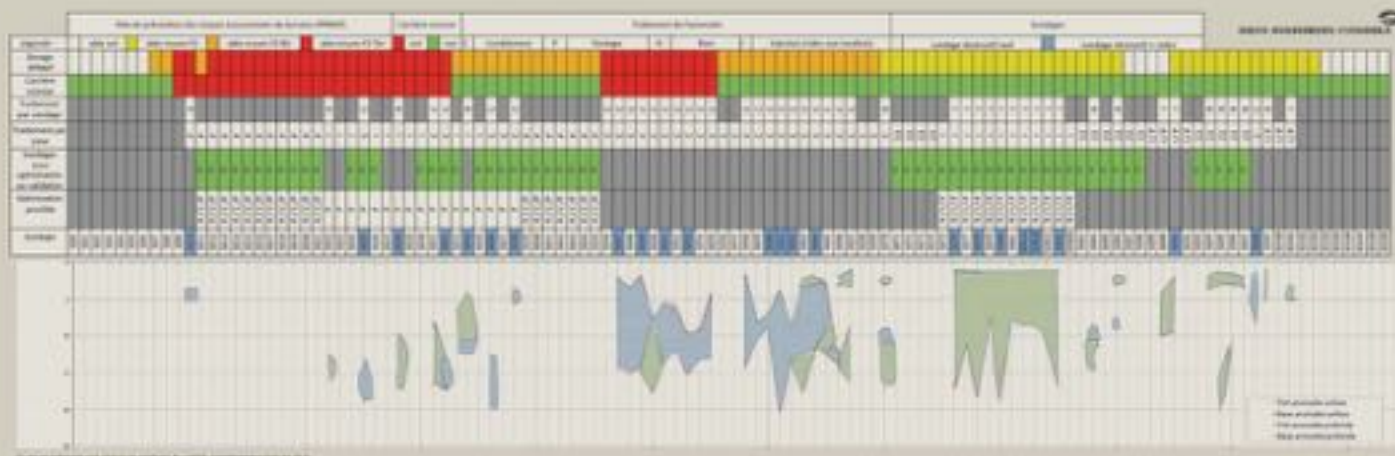
La figure 8 résume la solution proposée par GEOS avec une consolidation horizontale des horizons peu compacts (formation superficielle, craie altérée ou remblai de craie) et un comblement des cavités franches.

Afin de limiter les quantités de mortier à injecter, GEOS a retenu l'emploi d'un mortier de consistance pâteuse pour réaliser de l'injection solide (Slump de 10 à 15 cm maximum). Ce choix permet, dans les zones de cavités franches connectées, d'éviter des pertes laté-

© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

PROFIL EN LONG DES ANOMALIES DE LA 1^{re} CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE

6





7

7- Sondage complémentaire (Ginger Ceftp).

8- Solution proposée par GEOS avec une consolidation horizontale des formations peu compactes.

7- Additional boring (Ginger Ceftp).

8- Solution proposed by GEOS with horizontal consolidation of weakly compact horizons.

rales importantes en dehors de l'emprise de la plateforme tramway car le mortier forme un cône avec une pente de 15 à 20° environ.

La mise en place d'un coulis « classique » (très fluide) n'aurait pas permis d'assurer la maîtrise des quantités, coûts et délais, sans réaliser au préalable des barrages en souterrain dans les anomalies tout le long du projet ; solution non envisageable pour un projet linéaire où les cavités, leurs dimensions et leur connectivité ne sont pas connues.

SUMI DES TRAVAUX

L'entreprise Soleffi TS, sous-traitant du mandataire Eiffage Travaux Publics, s'est vu confier la réalisation des travaux d'injection. La procédure d'exécution était la suivante :

- Implantation des forages selon une maille 3 m x 2,5 m : 3 lignes de forages en quinconce : une ligne à l'axe de la voie et une ligne en bordure de plateforme ;
- Forage à 20 m de profondeur avec mesure des paramètres de forage et interprétation ;
- Injection de mortier depuis la base du forage par passes de 0,5 m en respectant les critères d'arrêt adaptés au type d'anomalie identifiée. Les critères d'arrêt retenus étaient les suivants (vides francs/sols décomprimés) :
- 5 m³/0,5 m³ par passe de 0,5 m de haut ;
- 10 m³/5 m³ par forage et par jour ;
- 0,5 MPa/1 MPa pour la pression d'injection ;
- Résurgence en tête.

Afin d'assurer la maîtrise des quantités d'injection, le contrôle de la consistance du mortier est essentiel. Des mesures de l'affaissement (Slump) ont été systématiquement réalisées sur chaque toupie de mortier livrée (figure 11).

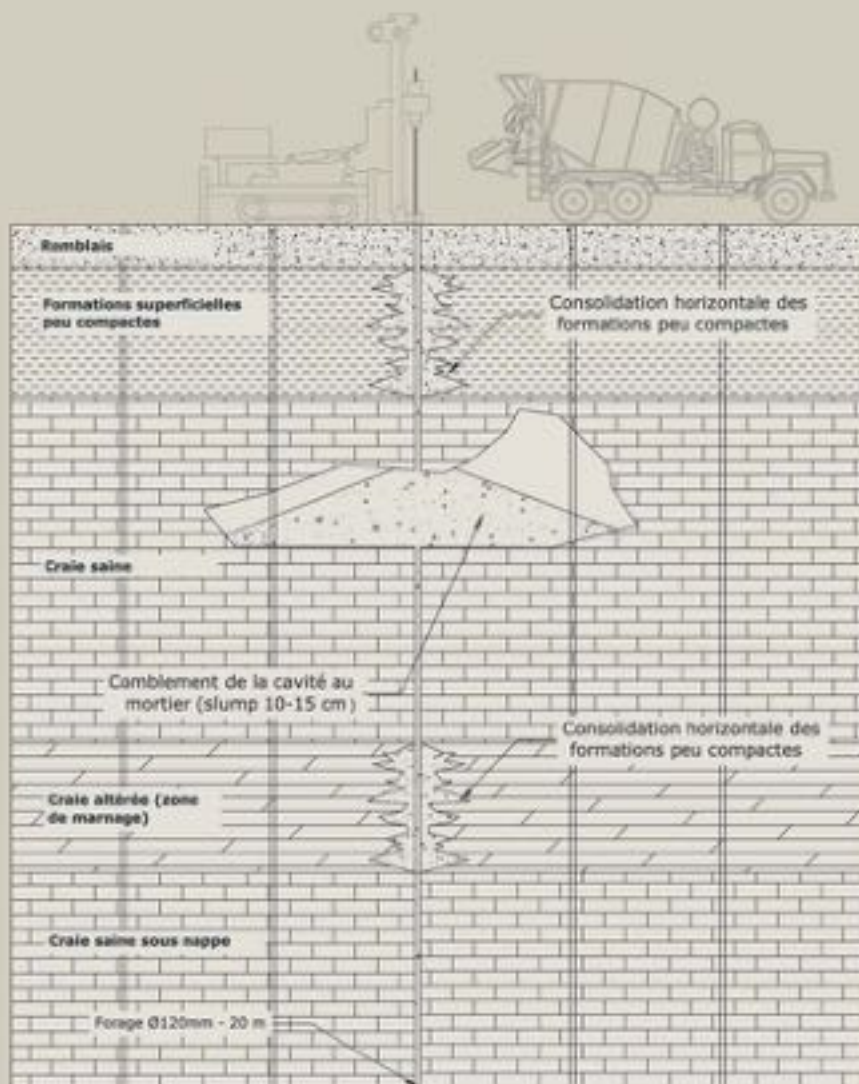
Plusieurs toupies ont été refusées en début d'opération.

En cas d'anomalie majeure rencontrée en forage (vide franc supérieur à 2 m de hauteur), une inspection vidéo a été réalisée pour analyser la configuration et observer l'état du toit des cavités en particulier.

Des fractures importantes ont pu être observées au niveau du toit de plusieurs cavités.

Ces inspections ont permis également de visualiser le comportement du mortier dans les cavités. Le mortier forme un cône confirmant la bonne maîtrise, par cette technique, des pertes latérales en dehors de l'emprise des travaux ▶

SOLUTION PROPOSÉE PAR GEOS avec une consolidation horizontale des formations peu compactes



8



© PHOTOHÉLOË GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

(figure 16) et le bon dimensionnement de la maille de forage (recouvrement partiel des cônes d'injection entre deux forages consécutifs).

BILAN DES TRAVAUX

Les travaux se sont déroulés de mars à juin 2013 avec la réalisation d'un

1^{er} tronçon de 250 ml situé entre le n°106 et le n°160 de l'avenue de Condé. Puis, à partir de fin avril, une deuxième phase de travaux a débuté avec plusieurs tronçons plus courts situés au nord et sud du 1^{er} tronçon. Avant travaux, l'estimation par GEOS Ingénieurs Conseils des quantités de

mortier à injecter était la suivante :
 → Environ 2 000 m³ pour le premier tronçon (1^{re} phase) ;
 → Entre 500 et 800 m³ pour l'ensemble de la 2^e phase.
 Un système de suivi précis des volumes injectés a été mis en place pour garantir la maîtrise des quantités, coûts et

délais avec notamment l'utilisation d'un outil de comparaison de l'analyse préliminaire des anomalies et des quantités réelles injectées. On observe sur la figure 12 que les sondages où les plus gros volumes ont été injectés (en rouge sur les trois profils du bas) correspondent aux

© GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

EXTRAIT DU PROFIL EN LONG DES LIGNES D'INJECTION

12



9- Foreuse.
 10- Livraison de mortier.
 11- Essai d'affaissement.
 12- Extrait du profil en long des lignes d'injection.
 13- Dispositif d'injection.
 14 & 15- Carrière souterraine - Fractures du toit.
 16- Mortier en place dans la cavité.

9- Drilling machine.
 10- Mortar delivery.
 11- Slump test.
 12- Excerpt from the longitudinal profile of injection lines.
 13- Injection system.
 14 & 15- Underground quarry - Roof fractures.
 16- Mortar in place in the cavity.



FIGURE 13 © PHOTO THÉÂTRE GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - FIGURES 14, 15 & 16 © ENTREPRISE JOLY ETS

forages de reconnaissance préalable avec des anomalies de type vide ou quasi-vide (en rouge sur le premier profil en haut). L'interprétation initiale des anomalies a donc été confirmée par les travaux. En fin de chantier, les volumes injectés sont de 1 793 m³ pour la 1^{re} phase et

de 774 m³ pour la 2^e phase, soit des écarts de l'ordre de 10% par rapport à l'estimation initiale. La technique de traitement des cavités et anomalies de compacité proposée par GEOS Ingénieurs Conseils était donc bien adaptée au contexte géologique et géotechnique du site.

Les deux objectifs principaux définis avant le démarrage des travaux ont été parfaitement remplis :
 1- Traiter les anomalies pour réduire le risque lié à l'aléa cavité souterraine à un niveau acceptable.
 2- Maîtriser les quantités injectées, les coûts et les délais. □

DONNÉES DU CHANTIER

LIGNÉAIRE DE VOIE TRAITÉE : 380 m pour 830 m de projet en zone PPRMT
FORAGES : 396 unités et 7 920 m
VOLUME TOTAL INJECTÉ : 2 567 m³
VOLUME MOYEN / MIN / MAX : 6,5 m³/0,7 m³/39 m³
TRAITEMENT : 1,3 m³ de mortier / m² de plateforme
DÉLAI : 15 semaines

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SITURV
MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : INGEROP
MAÎTRE D'ŒUVRE GÉOTECHNIQUE : GEOS Ingénieurs Conseils, filiale du groupe INGEROP
ENTREPRISE PRINCIPALE : EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS
ENTREPRISE RÉALISANT LES INJECTIONS : SOLEFFI TS

ABSTRACT

VALENCIENNES TRAMWAY: MANAGEMENT OF "UNDERGROUND QUARRIES" RISK UNDER A LINEAR PROJECT
 STÉPHANE CURTIL, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS - ERWAN MOAL, GEOS

During the construction of line 2 of the Valenciennes tramway, supervised by project manager SITURV, a 1-km section was identified where chalk quarries had formerly existed. These cavities are in a connected network, and are not accessible. To prevent the risk of subsidence cavity, they must be filled by grout injection. GEOS Ingénieurs Conseils designed a solution to treat the cavities and compactness anomalies under the land covered by the tramway formation while controlling side losses. □

TRANVÍA DE VALENCIENNES: CONTROL DEL RIESGO "CANTERAS SUBTERRÁNEAS" BAJO UN PROYECTO LINEAL
 STÉPHANE CURTIL, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS - ERWAN MOAL, GEOS

Durante la construcción de la línea 2 del tranvía de Valenciennes, cuyo contratista era SITURV, se identificó un sector de 1 km que presentaba "catiches", antiguas canteras de creta. Se trata de una red de cavidades conectadas, no accesibles. Para evitar el riesgo de hundimiento, era conveniente rellenarlas mediante inyecciones. GEOS Ingénieurs Conseils definió una solución que permite tratar las cavidades y las anomalías de compacidad bajo la plataforma del tranvía, controlando al mismo tiempo las pérdidas laterales. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : L'ACHÈVEMENT DE L'AUTOROUTE DE L'OUEST

PAR M. DE BUFFEVEN - TRAVAUX N°190 - AOÛT 1950

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTP



L'AUTOROUTE A13 QUI NOUS PERMET DE FILER DE PARIS VERS LA NORMANDIE, S'EST LONGTEMPS APPELÉE « AUTOROUTE DE L'OUEST ». CE FUT LA PREMIÈRE AUTOROUTE FRANÇAISE.

Les études commencèrent en 1927, la déclaration d'utilité publique fut prononcée en 1935. À l'époque, l'aviation commerciale était encore balbutiante et il fallait relier la capitale aux ports transatlantiques par voie terrestre rapide.

Le gros œuvre du tunnel de Saint-Cloud s'acheva en 1939.

Les travaux stoppés en juin 1940 connurent une éphémère reprise sous l'effet d'une politique de grands travaux pour lutter contre le chômage, avant d'être définitivement arrêtés en 1941 par l'autorité d'occupation. L'inauguration de la partie sud eut lieu le 5 juillet

1950. Le lecteur sera peut-être surpris de trouver dans cet article le mot *Ausweiss* et d'apprendre que la Kriegsmarine utilisa le tunnel de Saint-Cloud pour entreposer des torpilles. Il découvrira que la résistance du béton s'exprimait en hectopiezés et que les trous de bombes posaient un problème lors de l'exécution de la plateforme. Sur les photos, il verra des ouvriers coiffés d'un béret au lieu d'un casque et aussi une fabuleuse bétonnière sur chenilles nommée *Multifoot*.

Le calcul des pénalités frappant l'entreprise en cas de malfaçon de la surface de roulement est détaillé avec précision.

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: COMPLETION OF THE WESTERN MOTORWAY TRAVAUX N°190 - AUGUST 1950

M. DE BUFFEVEN

The A13 motorway which provides a fast route from Paris to Normandy was for a long time called the "Western motorway". It was the first motorway in France. Studies began in 1927, and the declaration of public utility was issued in 1935. At that time, commercial aviation was still in its infancy and the capital had to be linked to the transatlantic ports. The structural work on the Saint-Cloud tunnel was completed in 1939. The works, stopped in June 1940, were then briefly resumed as part of a policy of major works projects to combat unemployment, before being finally stopped in 1941 by the occupying authority. The southern section was inaugurated on 5 July 1950. Readers will possibly be surprised to find in this article the word *Ausweiss* and to learn that the Kriegsmarine used the Saint-Cloud tunnel to store torpedoes. They will discover that the strength of concrete was expressed in "hectopiezés" (bar pressure) and that bomb holes posed a problem during execution of the formation level. In the photos, you can see workers with a beret on their head instead of a helmet, and also a fabulous caterpillar concrete paving machine called *Multifoot*. The calculation of the penalties applied to the company in the event of bad workmanship on the wearing course is described in precise detail. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LA FINALIZACIÓN DE LA AUTOPISTA DEL OESTE OBRAS - TRAVAUX N°190 - AGOSTO DE 1950

M. DE BUFFEVEN

La autopista A13, que permite ir rápidamente de París a Normandía, se denominó durante mucho tiempo "autopista del Oeste". Fue la primera autopista francesa. Los estudios comenzaron en 1927 y la declaración de utilidad pública se pronunció en 1935. En aquella época, la aviación comercial todavía era incipiente y era necesario comunicar la capital con los puertos transatlánticos. La obra gruesa del túnel de Saint-Cloud finalizó en 1939. Las obras, que se interrumpieron en junio de 1940, experimentaron una efímera reanudación bajo el efecto de una política de grandes obras para luchar contra el desempleo, antes de que la autoridad de ocupación las cesara definitivamente en 1941. La inauguración de la parte sur tuvo lugar el 5 de julio de 1950. Quizá el lector se sorprenda al encontrar en este artículo la palabra *Ausweiss* y descubrir que la Kriegsmarine utilizó el túnel de Saint-Cloud para almacenar torpedos. Descubrirá que la resistencia del hormigón se expresaba en hectopiezés y que los agujeros creados por los impactos de las bombas planteaban un problema durante la ejecución de la plataforma. En las fotos, veremos a obreros con boina en vez de casco y también una fabulosa hormigonera sobre orugas denominada *Multifoot*. Se detalla con precisión el cálculo de las penalizaciones a las que se exponía la empresa en caso de defecto de la superficie de rodadura. □

ORGANE OFFICIEL TECHNIQUE DE
LA FÉDÉRATION NATIONALE DES
TRAVAUX PUBLICS ET DE SES
SYNDICATS AFFILIÉS

TRAVAUX

ORGANE OFFICIEL TECHNIQUE DE
LA CHAMBRE SYNDICALE DES
CONSTRUCTEURS EN CIMENT
ARMÉ DE FRANCE

AOUT 1950

REVUE MENSUELLE
ÉDITIONS « SCIENCE ET INDUSTRIE »

CH. L. HEUDELOT ✽
Directeur général
P. LE FRENCE, Directeur
Rédacteur en chef

N° 190

6, AVENUE PIERRE-I^{er}-DE-SERBIE — PARIS (16^e) — TÉLÉPHONE : KLÉBER 47-71 (3 LIGNES)

L'achèvement de l'autoroute de l'Ouest

Par M. de BUFFÉVENT

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le 5 juillet 1950, la branche sud de l'autoroute de l'Ouest a été ouverte à la circulation après avoir été inaugurée par M. le Ministre des Travaux publics, accompagné de M. Boutet, Vice-Président du Conseil général des Ponts et Chaussées, à qui il avait appartenu, en 1935, alors qu'il était Directeur des routes, de décider la construction de cette première autoroute française; de M. Rumpier, Directeur des routes au Ministère des Travaux publics et de nombreuses personnalités du monde de l'automobile et du tourisme.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant pour nos lecteurs d'avoir, sous la signature autorisée de M. de Buffévent, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de Seine-et-Oise, quelques précisions sur les conditions d'achèvement de cet important ouvrage qui fait le plus grand honneur à la technique française.

Nous lui adressons nos très sincères remerciements, pour la remarquable étude qu'il a bien voulu nous remettre et que nous publions ci-après.

SAUS la guerre et les événements qui ont suivi, les travaux de construction de l'autoroute de l'Ouest auraient été achevés dans le courant de 1940, et cette nouvelle sortie de Paris livrée, dans son entier, à la circulation, au plus tard à la fin de la même année.

Au 1^{er} septembre 1939, le gros œuvre du tunnel de Saint-Cloud était à peu près terminé. Il en était de même des terrassements et ouvrages d'art du tronçon commun, de la branche nord et du triangle de Rocquencourt, sur lesquels les chaussées en béton étaient en cours de construction. L'infrastructure de la branche sud était elle-même très avancée.

Cependant, les travaux continués tant bien que mal pendant l'hiver 1939-1940, en l'absence de la plupart des cadres de l'administration et des entreprises mobilisés, furent stoppés par force en juin 1940.

Un effort important fut fait quelques mois plus tard pour leur reprise dans le cadre du programme de grands travaux contre le chômage, mais la pénurie rapidement accentuée de ciment, de carburant et de matériaux d'abord, l'interdiction des autorités d'occupation ensuite, en imposèrent finalement l'arrêt complet dans le courant de 1941.

Les chaussées de la branche nord et du tronçon commun, celles-ci partiellement exécutées — une des deux chaussées manquait encore sur une longueur de 3,5 km environ entre les raccordements de Vaucresson et de Rocquencourt — furent mises en service le 4 octobre 1941, avec un débouché provisoire, sur la R.N. 185, de Versailles à Saint-Cloud par Ville-d'Avray, concourant avec le tunnel de Saint-Cloud. Elles firent alors le bonheur des cyclistes et de quelques automobilistes privilégiés porteurs d'autorisation. Quant au souterrain, complètement terminé, à l'exception des installations de ventilation, il fut, à la même époque, réquisitionné par la Kriegsmarine qui l'aménagea et le transforma en dépôt de torpilles. Peu s'en fallut que cette utilisation imprévue ne lui fût fatale au moment de la Libération!

La récupération du tunnel, en octobre 1945, sa remise en état et son ouverture à la circulation, en juin 1946, permirent, sans attendre l'achèvement complet de l'autoroute, de mettre à la disposition des automobilistes, eux aussi retrouvés, une première liaison commode et rapide entre le pont de Saint-Cloud et la route de Normandie, desservant au passage l'ag-

glomération de Versailles. Le nombre toujours croissant des véhicules qui l'empruntent (1) confirma rapidement tout l'intérêt de la formule pour le dégagement de la proche banlieue au point que, malgré les difficultés financières et la pénurie de crédits, la reprise des travaux, réclamée avec insistance par les assemblées élues, les automobiles-club, le Conseil économique, la Chambre de commerce de Versailles, etc., put être envisagée au début de 1949 (fig. 1).

Après un sommeil de près de huit ans, pendant lequel, la poursuite au ralenti des installations de ventilation de Saint-Cloud mise à part, les choses étaient restées dans l'état même où elles se trouvaient en 1941 — avec d'ailleurs toutes les conséquences onéreuses que l'on peut imaginer pour les plateformes abandonnées et les ouvrages inachevés — les travaux furent effectivement repris en avril 1949.

En janvier 1950, la deuxième chaussée du tronçon commun, entre Vaucresson et Rocquencourt, était livrée à la circulation. Au mois de juillet prochain, il en sera de même des chaussées de la branche sud qui permettront une liaison directe entre le pont de Saint-Cloud, la forêt de Rambouillet et les grandes routes de Bretagne et du Sud-Ouest.

Simultanément, l'achèvement de la tête est du tunnel et son équipement définitif sont poursuivis avec activité.

Ainsi donc, à quelques travaux de parachèvement près : clôtures, écoulements d'eau, équipement téléphonique, etc., que les nécessités budgétaires obligent à reporter sur les exercices ultérieurs, l'autoroute de l'Ouest se trouvera-t-elle complètement terminée, quinze années après sa déclaration d'utilité publique, années traversées, il est vrai, d'événements exceptionnels.

A tout le moins, l'interruption des travaux aura-t-elle eu comme avantage de permettre aux ingénieurs de bénéficier, pour l'achèvement de ce qui restait à faire, et notamment des

(1) Les chiffres qui suivent donneront une idée de cette progression :
Pour la semaine du 25 au 21 mai 1949, la circulation moyenne journalière a atteint, au tunnel de Saint-Cloud, 14 500 véhicules, avec un maximum de 28 523 véhicules, le dimanche 21 mai.
Pour la semaine correspondante de 1949, le trafic fut seulement de 6 900 véhicules pour la circulation moyenne et 16 645 pour celle du dimanche.
Pour la semaine correspondante de 1948, qui englobait la Fête de la Victoire et avait bénéficié de ce fait d'un trafic exceptionnel, il fut respectivement de 2 500 et 11 760 véhicules.



FIG. 1. — Plan général de l'embranchement de l'Orléans.

chaussées en béton, de l'expérience d'une exploitation de plusieurs années et aussi des progrès réalisés dans l'intervalle par cette technique particulière.

..

L'autoroute a été prévue pour être équipée avec deux chaussées séparées par un terre-plein central, de 9 m de largeur chacune sur le tronçon commun et de 7 m sur les branches terminales.

Constituées par des dalles de béton de 24 cm d'épaisseur, reposant sur une forme de sable et liées entre elles par des goujons d'acier, elles sont bordées latéralement par des solins en béton de 0,40 m de largeur, arasés au même niveau et formant bandes de surlargeur (fig. 2 et 3). Sous le terre-plein central, une sous-dalle en béton maigre assure la continuité du revêtement en protégeant le sol de fondation contre toute venue d'eau superficielle (fig. 4).

Ces dispositions générales arrêtées après concours, lors de la mise en chantier des premiers lots, en 1939, ont été bien entendu conservées, avec cependant quelques modifications et améliorations inspirées de l'expérience et sur lesquelles nous allons nous arrêter.

Observations générales.

Dans leur ensemble, si l'on considère d'une part leur âge, d'autre part la circulation intense qu'elles ont supporté, tout au moins au cours de ces dernières années, on peut dire que les chaussées construites il y a onze ans ont eu une tenue satisfaisante. Aucune usure appréciable n'a été constatée et l'indice de rugosité mesuré par le procédé du stadographe, quoiqu'un peu inférieur à celui des chaussées neuves, est resté très acceptable.

Certaines des défauts constatés à l'usage, d'ailleurs peu nombreuses et assez excusables si on se rappelle l'époque à laquelle une grande partie des premières chaussées ont été réalisées, sont imputables à des défauts d'exécution :

dalles dégradées en surface, probablement par suite d'une protection insuffisante après le finissage (gel ou séchage trop rapide) ;

cassures au voisinage des joints transversaux provenant soit du défaut de parallélisme des goujons de liaison, soit d'un décrochement accidentel entre les deux moitiés du joint exécutées à des temps différents (planchette à la partie inférieure mise en place au moment du coulage du béton, réserve métallique à la partie supérieure enfoncée après finissage), soit d'une mauvaise position des goujons laissant des longueurs différentes de part et d'autre du joint ;

caquages dans les angles intérieurs des dalles, du fait de la rencontre accidentelle d'un fer transversal et d'un goujon longitudinal.

Il appartient d'y remédier par une surveillance accrue du chantier et d'obtenir en même temps la qualité la meilleure possible du profilage, qui dépend, pour une large part, du soin avec lequel sont posés et nettoyés les chemins de roulement et de leur rigidité.

D'autres imperfections peuvent être mises sur le compte de la mauvaise qualité du sous-sol et du tassement de la plate-forme (1).

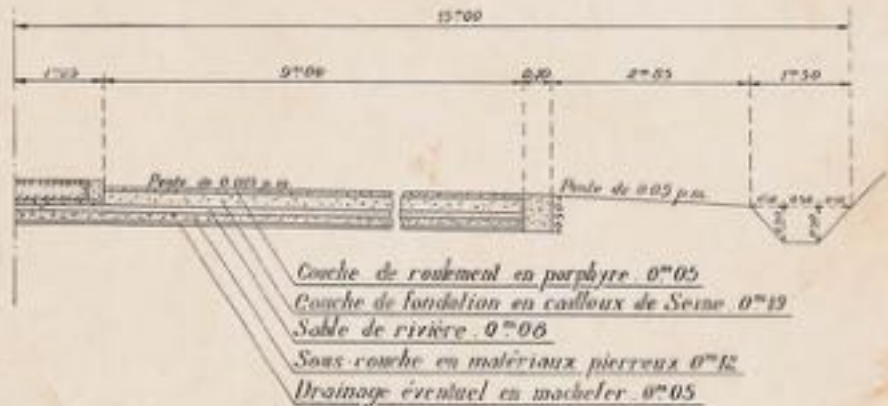


Fig. 1. — Tronçon commun. Demi-profil en travers type.

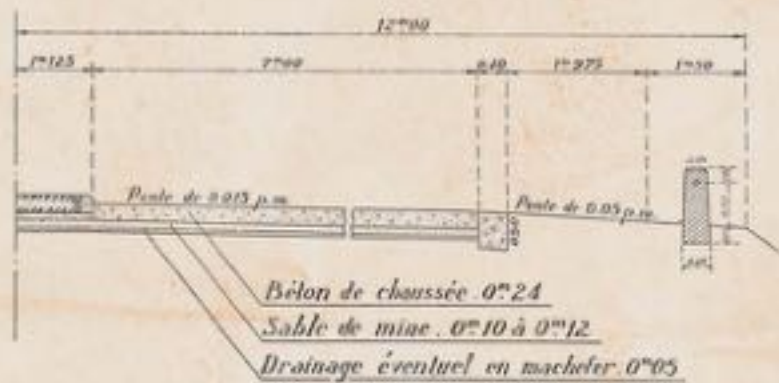


Fig. 2. — Branche sud. Demi-profil en travers type.

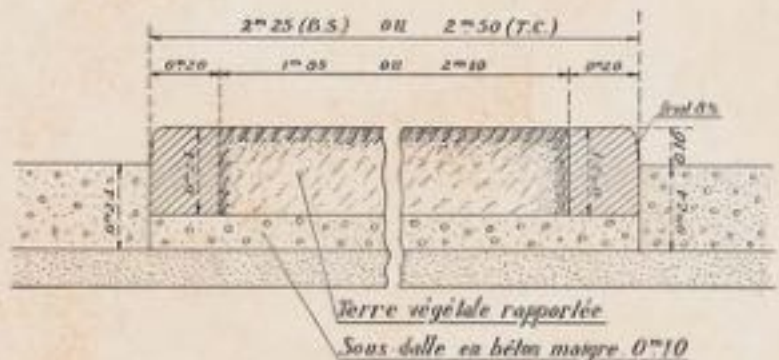


Fig. 4. — Détail du terre-plein central.

C'est ainsi que quelques affaissements se sont produits, généralement dans des sections en remblai, et se sont accompagnés d'une déformation permanente très sensible des dalles elles-mêmes, devenues concaves, déformation qui a rendu impossible leur simple relevage par soufflage et a nécessité leur réfection complète.

Des relevés effectués ont montré que cette déformation pouvait atteindre 5 à 7 cm de creux pour une dalle de 12 à 15 m de longueur. En apparence cette déformation ne semble s'accompagner d'aucune fissuration du béton, mais en réalité, chaque fois que les dalles déformées ont été démolies, en vue

(1) A ce point de vue, la précaution prise de diriger l'excavation de la chaussée défectueuse en béton au voisinage immédiat des passages inférieurs où le tassement était plus particulièrement à craindre, et de la remplacer par une chaussée provisoire en pavage monaque s'est avérée pleinement justifiée.

de leur réfection, on a constaté plus ou moins nettement que de telles fissures existaient dans la masse, surtout au voisinage de la face inférieure. L'effet de compression développé par la flexion de la dalle en masquait seulement l'apparence à la partie supérieure.

En quelques endroits, et notamment sur le tronç commun, au voisinage de Vaucresson, des ondulations d'assez grande amplitude, encore que non gênantes pour la circulation rapide, ont également apparues.

Presque partout, à l'emplacement de ces désordres, les sondages effectués ou les observations faites à l'occasion des travaux de réfection, ont permis de constater la présence d'eau ou d'humidité permanente dans le sol de fondation. Une telle constatation paraît assez insolite au premier abord, puisqu'il s'agit en général de sections en remblai, mais elle peut s'expli-

quer cependant par des montées capillaires provoquant des condensations sur la face inférieure du revêtement imperméable. Il convient en tout cas de tenir compte de cette donnée de l'expérience en assurant, chaque fois que l'opportunité peut en apparaître, le drainage préalable de la plateforme ou l'interposition d'un dispositif d'interception.

Enfin, d'assez nombreuses fissures transversales, peu gênantes à la vérité, et constituant en définitive des joints de flexion supplémentaires, ont pu être décelées, le plus souvent vers le milieu des dalles. Leur fréquence est d'ailleurs très variable et, dans une assez large mesure, paraît en rapport avec la qualité plus ou moins bonne du sous-sol. Sur une même section du tronç commun, entre Vaucresson et Roquenecourt, dans une suite de 84 dalles reposant sur un sol de limon argileux humide, 25 fissurations ont été repérées, alors que 3 seulement ont été trouvées sur les 61 dalles faisant suite immédiatement et fondées sur les sables de Fontainebleau. Dans d'autres sections, en profils mixtes, les fissures n'existent que sur la chaussée en remblai ou même sur une moitié de celle-ci.

Ces fissures ne mettent pas en cause la qualité propre du béton et sa résistance intrinsèque qui s'est avérée excellente au point que toutes les démolitions effectuées ont nécessité l'emploi d'explosifs.

Par contre, elles attirent l'attention sur l'opportunité d'augmenter l'épaisseur de la fondation, pour avoir une meilleure répartition, quand la nature du sous-sol paraît l'indiquer. Elles incitent également, conformément d'ailleurs à la tendance actuelle, à réduire la longueur des dalles entre joints.

Dispositions nouvelles envisagées.

Préparation de la plate-forme.

Pour des raisons indiquées plus haut, cette dernière a été spécialement soignée. Au surplus, si du point de vue du tassement des terres le délai anormalement long qui s'est écoulé depuis l'achèvement des terrassements a en des conséquences heureuses, l'abandon pendant le même temps de la plate-forme préparée, son envahissement par la végétation, la stagnation ou le cheminement des eaux de ruissellement qui ont en maints endroits raviné ou entraîné les talus, les ornières profondes résultant du passage, pendant la guerre, de convois militaires sur chenilles, obligeaient à une reprise complète en surface.

Un premier décaillage général, effectué à la niveleuse pour désorganiser le moins possible le terrain en place, a donc été exécuté sur une épaisseur moyenne d'une quinzaine de centimètres avec mise en cordons et enlèvement des produits de décapage.

Dans certaines parties en tranchées cette première opération s'est accompagnée d'un dérochement destiné à supprimer les blocs de pierre affleurant au niveau de la fondation et qui auraient constitué autant de points durs susceptibles de provoquer la cassure des dalles (fig. 5). En d'autres endroits un déghaisage préalable a été exécuté.

Le sol de fondation ainsi découvert est de valeur très inégale. Pour le tronç commun, en dehors des 300 derniers mètres situés à l'étage



(Photo H. Baranger.)

Fig. 3. — Préparation de la plate-forme. Dérochement sur la branche sud.



(Photo H. Baranger.)

Fig. 4. — Tronç commun. Drains en arêtes de poisson pour l'aérissement de la plate-forme.



(Photo H. Baranger.)

Fig. 7. — Tronc commun.
Exécution de la couche de drainage en mâchefer.

des sables de Fontainebleau, on se trouve en présence d'un limon argileux qui retient l'eau et devient facilement inconsistant. Pour la branche sud, sur le plateau de Bois-d'Arcy et au droit du terrain d'aviation de Saint-Cyr, le terrain fortement argileux est de qualité médiocre, alors que d'autres sections, dans les sables de Fontainebleau ou les marnes calcaires, ont une tenue très supérieure.

Dans toutes les parties dontentes on a été conduit à exécuter un drainage soigné au moyen de drains remplis de cailloux de Seine, disposés en arêtes de poisson et prolongés sous l'emplacement des accotements jusqu'aux fossés (fig. 6). Ce drainage a été complété ensuite par l'interposition d'une couche générale de



(Photo H. Baranger.)

Fig. 8. — Tronc commun. Préparation de la forme.
Au premier plan: Drainage en mâchefer. Au deuxième plan: Mise en place et cylindrage de la sous-couche de fondation en déchets de carrière.

ports du chantier devaient être exécutés en empruntant la plate-forme de manière à ne pas gêner la circulation maintenue sur la chaussée en service.

Pour toutes ces raisons, on a été conduit à constituer, au-dessus du drainage en cailloux et mâchefer, une sous-couche de fondation de 12 à 14 cm d'épaisseur avant compression au moyen de déchets de carrière calcaires s'agglomérant bien sous le passage d'un cylindre lourd (fig. 8 et 9).

Dans les mêmes conditions, en certains points délicats de la branche sud, changement de nature de terrain, emplacements de trons de bombes, points de passage de déblai en remblai, on a établi des sous-dalles en béton maigre de 10 cm d'épaisseur au dosage de 250 kg de ciment Portland, armaturé avec des fers de 6 à 8 mm en maille de 20 cm.



(Photo H. Baranger.)

Fig. 9. — Tronc commun. Préparation de la forme.
Finition de la sous-couche de fondation en déchets de carrière.

Constitution des chaussées.

Les chaussées proprement dites sont constituées par des dalles de 24 cm d'épaisseur, posées, avec interposition de papier Kraft, sur une forme de sable préalablement régaliée et vibrée.

La longueur des dalles a été fixée uniformément à 8 m au lieu de 12 et 15 m antérieurement — les joints de dilatation étant espacés de 24 m avec dans leur intervalle deux joints de contraction ou faux joints.

Lors de la construction des premières chaussées les dalles comportaient une couche de fondation de 19 cm dosée à 350 kg de ciment avec cailloux de Seine, et une couche de roulement de 5 cm, dosée à 375 kg de ciment, avec porphyre concassé de Voutré. Il est apparu possible, compte tenu de l'expérience prise au cours de ces dernières années, d'adopter un dosage unique de 350 kg qui, tout en simplifiant la fabrication, évite l'inconvénient des retraits différents.

Pour la branche sud, une autre simplification a consisté à n'employer dans la dalle qu'un seul béton fabriqué avec du caillou de Seine (1). En dehors de l'économie qui en résulte, tant sur le coût des matériaux que sur la mise en œuvre, le surfacage en est certainement facilité, alors que la résistance reste encore largement suffisante. En outre, pour la sous-couche de fondation, le sable de rivière a été remplacé, moyennant une légère augmentation d'épaisseur, par du sable de carrière qui pouvait être extrait à bon compte en bordure même des emprises de l'autoroute. Une telle disposition avait déjà été expérimentée avec succès lors de la construction des pistes d'aviation de Villacoublay.

Enfin nous signalerons pour mémoire les résultats décevants obtenus lors de différents essais d'incorporation à la couche de roulement de grenaille de porphyre, en quantité variable, dans le but d'améliorer la rugosité du revêtement. Devant les difficultés de finissage des dalles qui en résultaient, même en présence d'une très faible addition de grenaille, l'idée a dû en être abandonnée.

Qualité du béton.

En ce qui concerne la qualité du béton et sa composition, les conditions imposées ont été directement inspirées des clauses du nouveau cahier des charges-type pour chaussées en béton en préparation. Elles prévoient notamment une résistance, à 28 jours, d'au moins 275 hectopièzes, à la compression, et 45 hectopièzes, à la flexion. Le volume absolu minimum de pierres entrant dans la composition de 1 m³ de béton doit être compris entre 430 et 500 l. Enfin la quantité d'eau maxima est donnée par la formule $45 + 0,23 C$, C étant le poids en kilos de ciment par m³, soit pour le dosage prévu de 350 kg de ciment : 125 l d'eau, avec possibilité d'augmenter de 2 à 3 l en cas d'insolation intense pour tenir compte de l'évaporation.

Avant tout commencement des travaux, l'entrepreneur était tenu de faire agréer par l'ingénieur les dispositions détaillées qu'il comptait adopter et notamment les dosages pour la composition du béton. Ces derniers ne deviennent définitifs qu'après essais préliminaires, à la compression, sur des cubes de 30 cm de côté, et à la flexion sur des prismes de 20 x 20 x 60, et à la condition que les résultats obtenus à 7 jours atteignent au moins les 8/10 des résistances à 28 jours imposées par le cahier des charges.

Nous donnons ci-après, à titre d'information, les compositions adoptées après essais de laboratoire ainsi que les résistances obtenues.

A. Tronc commun.

	Poids	Volume absolu
<i>a) Couche de fondation :</i>		
Caillou de Seine 20/60	350 kg	511 l
Sable sec	680 kg	299 l
Ciment Portland 250/315	350 kg	113 l
Eau		120 l

	Résistance moyenne en hectopièzes obtenue	
	à la compression	à la flexion
Au bout de 7 jours	249 hp	46,7 hp
Au bout de 28 jours	334 hp	49,9 hp

	Poids	Volume absolu
<i>b) Couche de roulement :</i>		
Porphyre concassé de Voutré 20/40	1 400 kg	530 l
Sable sec	612 kg	231 l
Ciment Portland 250/315	350 kg	113 l
Eau		120 l

	Résistance moyenne en hectopièzes obtenue	
	à la compression	à la flexion
au bout de 7 jours	341 hp	43,9 hp
au bout de 28 jours	383 hp	49,4 hp

B. Branche sud.

	Poids	Volume absolu
<i>Dosage unique :</i>		
Caillou de Seine 20/60	1 265 kg	500 l
Sable sec	745 kg	280 l
Ciment Portland 250/315	350 kg	113 l
Eau		125 l

	Résistance moyenne en hectopièzes obtenue	
	à la compression	à la flexion
Au bout de 7 jours	227 hp	44,4 hp
Au bout de 28 jours	275 hp	49,6 hp

Le cahier des charges prévoit également des dispositions spéciales concernant la vérification de l'épaisseur des dalles et la qualité de surfacage. Une première vérification de cette dernière est effectuée sitôt après la mise en place du béton et

(1) Sur le tronc commun, on a conservé la formule ancienne pour la raison qu'une grande partie du caillou de porphyre était déjà approvisionnée. Les dispositions adoptées pour le tronc commun devaient d'ailleurs, pour une raison évidente d'homogénéité, se rapprocher davantage des anciennes, puisqu'il s'agissait uniquement de terminer une section en lacune.

avant le commencement de la prise, au moyen d'une règle de 3 m déplacée dans le sens longitudinal et toute dénivellation de plus de 5 mm doit être immédiatement corrigée soit par racleage du béton soit par apport de béton frais. La réception provisoire des chaussées est subordonnée par ailleurs à une nouvelle vérification effectuée également au moyen de la règle de 3 m en ce qui concerne les profils en travers et, pour ce qui est des profils en long, au moyen de l'appareil viarographe passant dans l'axe de chaque voie de 3 m.

Le coefficient de régularité ayant été calculé pour chaque bande, on en fait la moyenne M qui définit le coefficient de régularité de la surface (1). Pour M compris entre 10 et 13 l'entrepreneur ne subira pas de pénalité et ne touchera pas de prime; pour M supérieur à 13, il subira une pénalité de 0,4 p. 100 du prix du mètre cube de revêtement par mètre carré de surface de route et par point excédant 13 jusqu'à 17. Au-delà de 17, la pénalité sera doublée pour chaque point excédentaire sans que le total puisse toutefois excéder 4 p. 100 du prix total du revêtement bétonné considéré. Si M est inférieur à 10, par contre, l'entrepreneur recevra une prime de 0,4 p. 100 du prix du mètre cube de revêtement pour les deux premiers points en moins et de 0,6 p. 100 pour les points les suivant avec un maximum de 4 p. 100 du prix total du revêtement en béton considéré.

D'autre part, l'administration pourra toujours exiger la réception de toute section qui présenterait une irrégularité excédant 20 mm.

Dispositions accessoires.

Un certain nombre d'autres modifications de détail ont en outre été apportées aux projets primitifs :

La hauteur des solins latéraux formant surlargueur a été portée de 40 à 50 cm en même temps que leur liaison avec les dalles voisines était assurée par des fers de 6 mm, pour éviter tout décollement.

La pente transversale de l'accotement a été portée de 3 p. 100 à 5 p. 100 pour améliorer l'écoulement des eaux de ruissellement.

Il n'a plus été prévu de bandes de signalisation incorporées à la chaussée et qui comportaient un logement en creux, aménagé dans la dalle et rempli d'asphalte coulé. Indépendamment des sujétions réelles d'exécution, leur entretien s'est en effet avéré assez difficile. On se contentera de bandes noires peintes après coup encore que, là aussi, quelques difficultés aient été rencontrées notamment dans l'emploi de peintures à l'alcool, intéressantes, sur une route aussi circulée, par leur rapidité de séchage, mais qui s'effacent vite, « gommées » par les pneus. Des peintures à base de caoutchouc chloré mises en place au pistolet, essayées actuellement, semblent donner de meilleurs résultats.

Il en sera de même pour les bandes de surlargueur qui seront, elles aussi, peintes en surface, au lieu d'être revêtues.

Exécution des travaux.

Les travaux ont commencé au printemps 1949 par la remise en état et la préparation des plates-formes (2). Sur le tronçon commun, la construction des chaussées intéressait 36 000 m² de dalles, y compris le convertissement des chaussées provisoires en pavage mosaïque, au voisinage des passages supérieurs. Elle a été terminée au début de 1950, époque à laquelle la deuxième voie a été livrée à la circulation. Sur la branche sud, les mêmes travaux de bétonnage qui intéressaient 100 000 m² de dalles, entrepris à la fin de juillet 1949,



(Photo H. Baranger.)

Fig. 10. — Centrale de Rocquencourt. Vue aérienne. D'avant en arrière: Magasin à ciment et tapis roulant montant à la bétonnière; trémies pour le ciment en vrac; trémies pour le sable et le caillou.

ont été terminés à la fin de mai 1950 et les nouvelles chaussées seront livrées à la circulation au début de juillet, après achèvement des travaux accessoires et démontage des installations de chantier.

Fabrication du béton en centrale.

Sur le tronçon commun, la fabrication du béton était effectuée à partir d'une centrale établie au droit du raccordement de Vaucresson et comportant des trémies alimentées au moyen de grues mobiles sur chenilles, et équipées, à la partie basse, de doseurs automatiques. A la sortie des doseurs les matériaux d'agrégat en proportion convenable, tombaient dans les bâches d'alimentation de trois grandes bétonnières surélevées, où le ciment était ajouté. A la sortie des bétonnières, le béton était déversé, par gravité, dans les camions-bennes qui l'emmenaient sur le chantier.

L'avance journalière était de 12 à 15 dalles soit environ 500 m².

Sur la branche sud, où les chantiers s'étalent sur une longueur de 8 km, deux installations distinctes ont fonctionné.

La première à Rocquencourt, à l'origine du tracé, n'était autre que l'ancienne centrale entièrement automatique montée en 1941 et conservée depuis en prévision d'une reprise des travaux (fig. 10).

Les matériaux d'agrégat y sont stockés dans des trémies alimentées par tapis roulant d'où ils sont repris par en dessous, au moyen de doseurs à secousses pour le caillou de Seine et à bascule pour le sable. En outre deux trémies spéciales sont réservées au ciment en vrac, approvisionné en camions bûchés et manutentionné par vis d'Archimède et élévateur à godets. Elles sont également équipées de doseurs à bascule. Simultanément l'emploi de ciment en sac est permis, grâce à une installation spéciale amenant au moyen d'un tapis roulant jusqu'à la bétonnière, les sacs approvisionnés dans un dépôt représentant trois journées de marche.

C'est même finalement cette dernière installation qui a fonctionné le plus souvent, la manutention du ciment en vrac ayant occasionné quelques déboires du fait de la présence de

(1) Ce coefficient de régularité n'est calculé que sur les sections en alignement droit à pente constante, à l'exclusion des parties intéressées par les changements de pente, retournements de virages, etc., qui sont neutralisées.

(2) L'achèvement des chaussées du tronçon commun a été confié au Consortium d'entreprises de chaussées bétonnées et la construction des chaussées de la branche sud au SOUSSEUR Français, qui étaient Maîtres des marchés lors de l'arrêt des travaux en 1947.



FIG. 11. — Branche sud. Vue aérienne du chantier de bétonnage alimenté par la centrale de Rocquencourt.

(Photo H. Baranger.)



FIG. 12. — Centrale de la R. N. 10.

(Photo H. Baranger.)

De droite à gauche: Trémies pour le caillou et le sable avec descends automatiques; tapis roulant; trémie de chargement où se fait l'addition du ciment stocké en sacs dans le magasin situé à l'arrière-plan.

certaines corps étrangers : débris de broyeurs, éléments métalliques, boulons, qui provoquaient le bris des ailettes de répartition. La livraison assez fréquente de ciment encore chaud provoquait elle-même parfois des condensations à la partie supérieure des trémies et des prises locales qui conduisaient au même résultat.

La cadence d'exécution a atteint 20 à 25 dalles par jour, soit 160 à 200 ml pour une demi-chaussée et 600 à 700 m³ de revêtement (fig. 11).

À partir du mois de décembre 1940, et pour augmenter l'avancement, la centrale de Rocquencourt a été doublée par

un deuxième, établie à l'extrémité opposée du chantier, au débouché même de la branche sud, sur la route nationale n° 10 et qui a commencé à fonctionner le 10 février 1950. D'un type un peu différent, elle comporte également le dosage volumétrique du caillou et le dosage en poids du sable à partir de trémies approvisionnées par grues mobiles, leur manutention par tapis roulant et l'addition dans la trémie de chargement du ciment approvisionné en sacs (fig. 12 et 13). Elle effectue d'ailleurs seulement le dosage et le mélange à sec des matériaux, l'addition d'eau et le béton proprement dit étant faits sur le chantier même, dans une bétonnière montée sur chenilles, du type « Multifoot », déversant directement le béton dans la forme au moyen d'un godet benne se déplaçant le long d'une flèche horizontale (fig. 14 et 15).



FIG. 13. — Centrale de la R. N. 10. Dispositifs de dosage et départ du tapis roulant.

À droite: Dosage volumétrique pour le caillou. À gauche: Bascule automatique pour le sable.

(Photo H. Baranger.)



(Photo H. Baranger.)

Fig. 14. — Bétonnière « Multifoot ».
A gauche: Bâche d'alimentation recevant les matériaux approvisionnés en camions. A droite: Godet recevant le béton et se déplaçant le long du bras horizontal.

Le transport des matériaux entre la centrale et la bétonnière était effectué par camions portant les éléments d'une ou deux gâchées, dans ce cas avec séparation intérieure formant compartimentage.

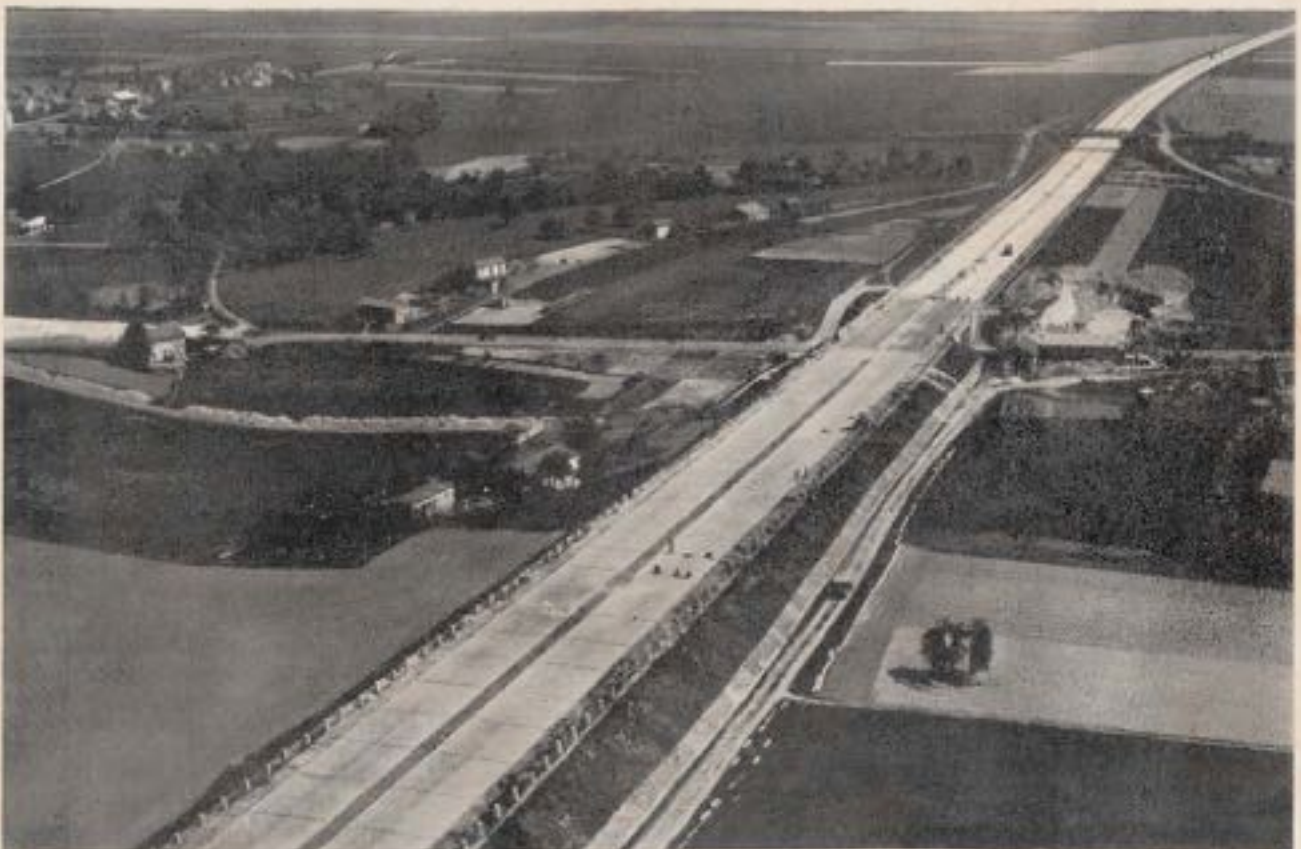
La cadence d'exécution était de 15 à

16 dalles par jour au maximum, un peu inférieure par conséquent à celle du chantier de Rocquencourt. Cette différence tient surtout à l'emploi de la bétonnière « Multifoot » qui s'est avéré assez délicate. La multiplication des opérations qui doivent être faites au moyen du même moteur: déplacement de l'engin, élévation de la bêche d'approvisionnement, rotation de la bétonnière, déplacement et ouverture du godet, etc., le grand nombre d'embrayages et commandes mécaniques correspondants sont à l'origine de pannes assez fréquentes. L'appareil



(Photo H. Baranger.)

Fig. 15. — Branche sud, Chantier de bétonnage.
A droite: Bétonnière « Multifoot ».



(Photo H. Baranger.)

Fig. 16. — Branche Sud, Chaussées terminées.
Vers le milieu à droite: La carrière qui a fourni le sable de rivière pour la fondation.
A la même hauteur: Tronçon en pavage mosaïque, au droit d'un passage inférieur. Un peu en avant: L'épave de garnissage des joints, en travail.

semble d'ailleurs conçu pour le béton américain plus mouillé que le béton français et il n'est pas toujours facile de respecter les dosages en eau maxima imposés. En regard, il n'est pas douteux qu'on peut obtenir par ce procédé un béton de qualité meilleure puisqu'il a échappé à toute ségrégation et qu'il en résulte également une économie appréciable de main-d'œuvre pour un travail particulièrement dur.

En gros, les 3/4 des chaussées de la branche sud auront été faits avec la centrale de Rocquencourt et 1/4 environ avec celle de la R. N. 10 (fig. 16).



Fig. 17. — Garnissage des joints. Badigeonnage des parois des dalles.

(Photo H. Baranger.)



(Photo H. Baranger.)

Mise en œuvre du béton.

La préparation de la forme, la mise en place du béton, sa vibration et le finissage des dalles ont été effectués entièrement mécaniquement par des machines régalo-finisseuses du type classique. L'ensemble de ces machines se déplace sur deux chemins de roulement établis à la partie supérieure des coffrages latéraux dont la rigidité et le réglage soigné conditionnent dans une large mesure la régularité du profil en long des chaussées terminées. Il est procédé ensuite au surfacage au balai, puis à la finition des joints qui seront garnis ultérieurement.

Joints.

Les joints de dilatation ont été effectués par la méthode classique de la planchette en bois tendre mouillée portant les goutjons de liaison et abandonnée dans la partie inférieure de la dalle, surmontée à la partie supérieure d'une réserve métallique mobile. Les hauteurs respectives de la planchette et de la réserve mobile ont été cependant modifiées depuis les premiers travaux, la hauteur de la planchette ayant été ramenée de 18 à 15 cm. D'autre part, le maintien du parallélisme des goutjons a été assuré d'une façon plus soignée, pendant la mise en place du béton. La réserve métallique est enlevée peu de temps après la finition suivant l'état de prise du béton et l'on termine à la main.

Les joints de contraction ont été effectués sur le tronçon commun, au moyen d'une table vibrante avec laquelle on met en place après coup un couteau qui, enlevé ultérieurement, assure la réserve du joint. Sur la branche sud, on enfonce à la dame une règle de fer de part et d'autre de laquelle on procède à une vibration supplémentaire du béton.

Une attention particulière a été apportée au problème du garnissage des joints, la formule employée pour les premières chaussées et qui utilisait un mélange d'émulsion de bitume et de sable s'étant avérée, à l'usage, comme assez défectueuse par suite du défaut d'élasticité. Par temps froid, au moment de la contraction des dalles, on observe des décollements sur les faces des joints qui laissent rentrer l'humidité ou même la fissuration dans son épaisseur, de la matière de remplissage insuffisamment plastique. Par contre, la dilatation des dalles qui rapproche leurs extrémités, provoque la formation d'un bourrelet désagréable, faisant saillie sur la chaussée et ne s'étalant pas suffisamment sous le passage des voitures.

Le procédé employé comporte 4 opérations successives : nettoyage du joint à l'air comprimé ;

badigeonnage des parois avec un film de peinture bitumineuse « Igol », produit liquide, employé à froid, qui facilite l'adhérence entre le ciment et la matière de remplissage (fig. 17) ;

remplissage du joint avec un mastic spécial « Igas », à base de brai de pétrole et d'amiante, suffisamment plastique après réchauffage pour être poussé, avec le pouce, dans le vide du joint (fig. 18) ;

finition avec une petite truelle à main en même temps que la matière plastique est ramollie en surface au moyen d'une lampe à souder.

Moyennant la précaution, quand on travaille par temps froid, de se tenir un peu en creux, il semble qu'on puisse obtenir, par ce procédé, des résultats satisfaisants, l'élasticité de la matière de remplissage et sa bonne adhérence aux parois des dalles lui permettant de se prêter au mouvement de ces dernières tout en assurant l'imperméabilité du revêtement.

M. de BUFFREVEST.