

Bulletin

Ouvrages d'art



SOMMAIRE

Bulletin du Centre
des Techniques d'Ouvrages d'Art



OUVRAGES MARQUANTS

Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg

La grande travée au-dessus
du fleuve est achevée

ALAIN DEMARE, GUY TREFFOT,
BERNARD TEUTSCH, EMMANUEL BOUCHON,
DANIEL LEFAUCHEUR, FLORENCE PERO

➔ P. 2

Une structure mixte innovante : le viaduc de franchissement de la vallée de la Marne à Meaux

MICHEL PLACIDI, JEAN-PIERRE COMMUN,
DANIEL LECOINTRE, JÉRÔME PETITJEAN,
OLIVIER BERTHELOT, JEAN-YVES SABLON

➔ P. 13

TECHNIQUES PARTICULIÈRES

Un câblage particulier pour l'ouvrage "OALE" du futur échangeur du Palays à Toulouse

PIERRE BARRAS

➔ P. 22

INFORMATIONS BRÈVES

➔ P. 26

STAGES

➔ P. 27

LE KIOSQUE DU SETRA

Les dernières publications Ouvrages d'Art

➔ P. 28

ÉDITORIAL

Depuis quatorze ans, le bulletin de liaison ouvrages d'art est un espace d'information ouvert à tous les acteurs des ouvrages d'art du ministère. Il est resté fidèle à sa raison d'être par la variété des articles et le contenu précis qui en ont fait une revue très appréciée. Je remercie tous ceux qui contribuent à sa richesse et à la qualité de son contenu.

Ce journal est un objet vivant dont je félicite les animateurs. Aujourd'hui, en restant fidèle à ses objectifs et en poursuivant son mouvement, le journal revêt une nouvelle présentation pour intégrer la charte graphique du ministère, porter les couleurs du réseau scientifique et technique, et s'intégrer dans la collection des publications du Setra.

Cette nouvelle édition du bulletin de liaison des ouvrages d'art prend ainsi sa place parmi une série de moyens d'échange destinés à ceux qui œuvrent dans ce domaine. Nous en reparlerons.

Jean-Claude Pauc
Directeur du Setra

Directeur de la publication : Jean-Claude Pauc. Comité de rédaction : Hélène Abel-Michel, Emmanuel Bouchon, Angel-Luis Millan (Setra). Pierre Paillusseau (CETE du Sud-Ouest), Ferry Tavakoli (CETE de Lyon), Jean-Christophe Carles (CETE Méditerranée). Michel Boileau (DDE 31). Bruno Godard (LCPC). Claude Bois (Misoa). Coordination : Jocelyne Jacob (Setra-Ctoa). Tél : 01 46 11 32 79 / Fax : 01 46 11 34 74, - Jacqueline Thirion (Setra-Eac). Tél : 01 46 11 34 82. Réalisation : ici design. Tél : 01 43 36 15 52. Impression : Caractère. 2, rue Monge - BP 224 15002 Aurillac Cedex ISSN : 1266-166X - © Setra - 2003

Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg

La grande travée au-dessus du fleuve est achevée

ALAIN DEMARE, GUY TREFFOT,
BERNARD TEUTSCH, EMMANUEL BOUCHON,
DANIEL LEFAUCHEUR, FLORENCE PERO



La construction du nouveau franchissement du Rhin au Sud de Strasbourg, baptisé du nom de Pierre PFLIMLIN, a connu un tournant décisif au cours de l'année 2001 avec la réalisation des tabliers et notamment le clavage de la grande travée centrale de 205 m de portée au-dessus du fleuve.

Les lecteurs du bulletin Ouvrage d'Art ont déjà fait ample connaissance avec ce chantier à travers différents articles publiés dans les n° 32 (juillet 99), 34 (mai 2000), 37 (avril 2001), 38 (juin 2001) et 40 (mai 2002). Pour clore cette description, l'article proposé ici présente la construction du tablier du pont principal sur le Rhin construit par encorbellements successifs à l'aide de bétons hautes performances.

Le tablier du pont principal

1. Conception générale

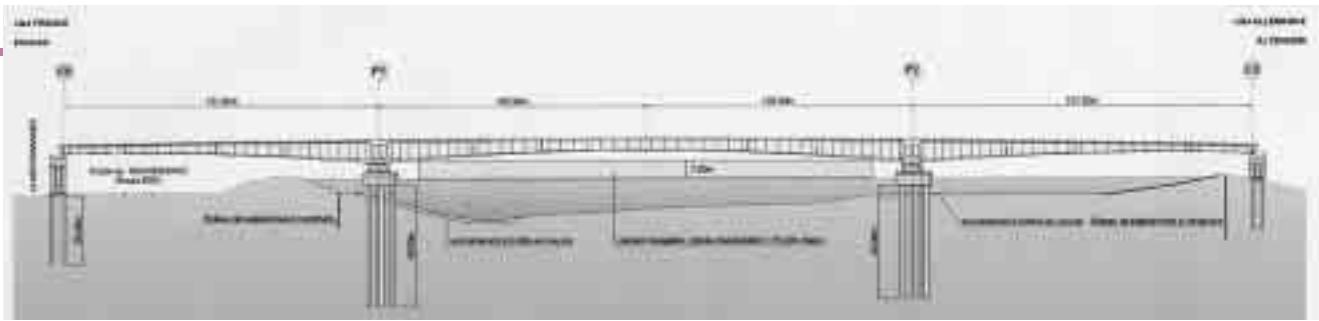
1.1. Caractéristiques géométriques principales

Le tablier, long de 460,50 m, comprend 3 travées de 121, 205 et 131 m. D'une largeur de 14,75 m, il est constitué d'un caisson mono-cellulaire présentant une hauteur variable de 9,00 m sur pile (1/23) à 4,50 m à la clé (1/45) en travée centrale et 3,20 m sur culées.

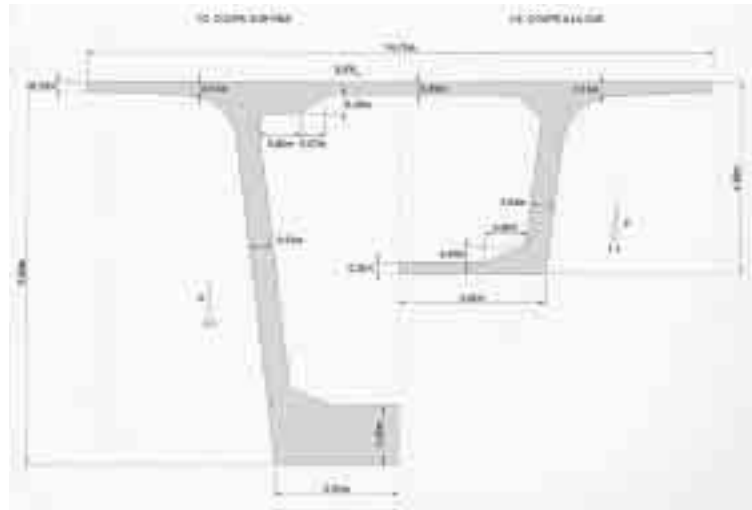
L'épaisseur du hourdis inférieur varie de 1,40 m à 0,25 m, celle du hourdis supérieur varie transversalement de 0,29 m jusqu'à 0,22 m et celle des âmes est constante, et égale à 0,54 m. Le tablier est situé sur un alignement droit et l'extrados suit un rayon parabolique de 11 000 m en profil en long.

Il est construit par encorbellements successifs, à partir des piles dans le fleuve, à l'aide de deux paires d'équipages mobiles.

La faible hauteur sur piles, adoptée ici pour ne pas relever le profil en long, crée un léger surcoût pour le tablier. Elle conduit à une augmentation du nombre des câbles de fléau qu'il est difficile de loger dans les goussets, à une augmentation



Coupe longitudinale



Coupes transversales



Construction des voussoirs en surencorbellement au delà des palées provisoires

de l'épaisseur du hourdis inférieur sur appui et à un léger épaissement des âmes.

1.2. Découpages en voussoirs

Le tablier comprend au total 103 voussoirs.

Chaque fléau de 200,50 m comprend un voussoir sur pile (VSP) de 9,50 m et 44 voussoirs courants de longueurs variables, entre 3,50 et 5,00 m.

Chaque fléau est prolongé en rives par des voussoirs de 5,00 m construits par surencorbellement au-delà de palées provisoires. Ce découpage proposé par l'entrepreneur, optimise, compte tenu du matériel disponible, celui envisagé par le Setra au stade du projet (et consistant en 30 paires de voussoirs de longueur constante égale à 3,25 m pour chaque fléau).

La mobilisation de la capacité de charges maximale des équipages tout au long de la construction permet de réduire le nombre de voussoirs courants et donc la durée de réalisation des fléaux (les voussoirs sont de poids sensiblement constant, leur longueur augmente au fur et à mesure que leur hauteur décroît).

1.3. Précontrainte - conception du câblage

Le câblage et les unités retenus sont les suivants :

- Précontrainte intérieure de fléau : 31 paires de câbles 25 T 15 S pour chaque fléau.

Ces câbles sont soigneusement " peignés " afin de réduire les déviations angulaires en évitant les contre-courbes.

Cette configuration impose des élargissements des goussets

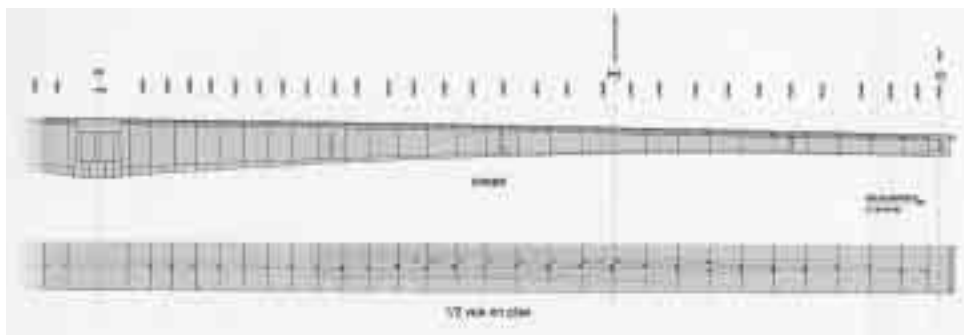


Schéma des câblages de fléau et provisoire de surencorbellement



Câblage de fléau – coupe transversale partielle sur pile

pour loger l'ensemble des câbles dans le hourdis supérieur.

- Précontrainte intérieure provisoire de surencorbellement : 4 ou 9 paires de câbles 25 T 15 S suivant la travée en phase définitive ;
- Précontrainte intérieure - câbles éclisses : Ces câbles sont constitués d'unités 25 T 15 S, au nombre de 2, 6 ou 5 paires suivant la travée ;
- Précontrainte extérieure de continuité : Ces câbles, au tracé trapézoïdal, sont constitués d'unités 31 T 15 S, au nombre de 5 paires dans chaque travée ; ils règnent sur la longueur d'une travée entière, les plus longs mesurant donc 212 m.

Ils sont déviés aux environs des tiers et deux tiers de chaque travée par des diaphragmes en béton armé et des dispositifs anti-vibratoires intermédiaires sont prévus lorsque la distance libre entre déviateurs est supérieure à 40 m. Ces dispositifs anti-vibratoires sont également constitués de diaphragme en béton armé. Le jeu annulaire entre les gaines polyéthylène et le béton est injecté à l'aide de produit souple.

- Précontrainte extérieure additionnelle

Des dispositifs (ancrages, déviateurs) sont prévus pour mettre en place une précontrainte additionnelle extérieure constituée de deux paires de câbles 19 T 15 S pour compenser les pertes de précontrainte au cours de la durée de vie de l'ouvrage, et à des redistributions par fluage plus importantes que prévu.

Le moment à la clé dépendait fortement de la loi de fluage retenue. Un essai de fluage a donc été réalisé au cours des études avec deux bétons :

- un béton confectionné avec des granulats concassés des Vosges, non réactifs, conduisant à un léger accroissement du

fluage du fait d'un volume de pâte plus important,

- un béton confectionné avec des granulats de la plaine du Rhin potentiellement réactifs.

Les résultats de ces essais sont présentés dans le bulletin Ouvrages d'Art n° 37 d'avril 2001.

Pour ce prémunir contre un fluage plus important que prévu, l'ouvrage a été calculé avec deux lois de fluage :

- la loi des bétons ordinaires (annexe 1 du BPEL) minorée de 50 %,
- la loi des BHP avec fumée de silice (annexe 14 du BPEL) majorée de 50%.

L'ensemble de la précontrainte longitudinale utilise le système C du procédé Freyssinet.

- Précontrainte transversale : Elle est constituée de monotrons gainés - graissés T 15 (système BBV) espacés de 0,40 m.

2. Phasage général de construction

La réalisation du premier fléau (côté Allemagne) comprend les phases suivantes :

- réalisation du voussoir sur pile et blocage sur appui par clouage ;
- montage et assemblage des équipages mobiles ;
- construction symétrique des voussoirs courants, jusqu'au droit de la palée provisoire ;
- construction en temps masqué de la palée provisoire ;
- mise en appui du fléau sur la palée provisoire par vérinage ;
- poursuite de la construction symétrique du fléau ;
- démontage de l'équipage côté travée centrale ;

- construction en surencorbellement des voussoirs de la travée de rive jusqu'à la culée ;
- démontage de l'équipage côté travée de rive ;
- construction du voussoir de culée à l'aide d'un étaieage ;
- mise en tension des câbles éclisses de la travée de rive ;
- démontage de la palée provisoire.

Le principe de réalisation du second fléau (côté France) est similaire. Le clavage en travée centrale puis la mise en tension des câbles éclisses correspondants interviennent toutefois avant de poursuivre la construction des voussoirs en surencorbellement de la travée de rive.

Les câbles de surencorbellement sont détendus en dernier lieu, avant mise en tension des câbles extérieurs de continuité.

3. Déroulement des travaux

3.1. Organisation générale du chantier

3.1.1 Contraintes de navigation

Pendant la construction du tablier, deux chenaux d'une

largeur minimale de 50 m sont en permanence assurés. Les bateaux n'évoluent en aucune circonstance à l'aplomb des équipages.

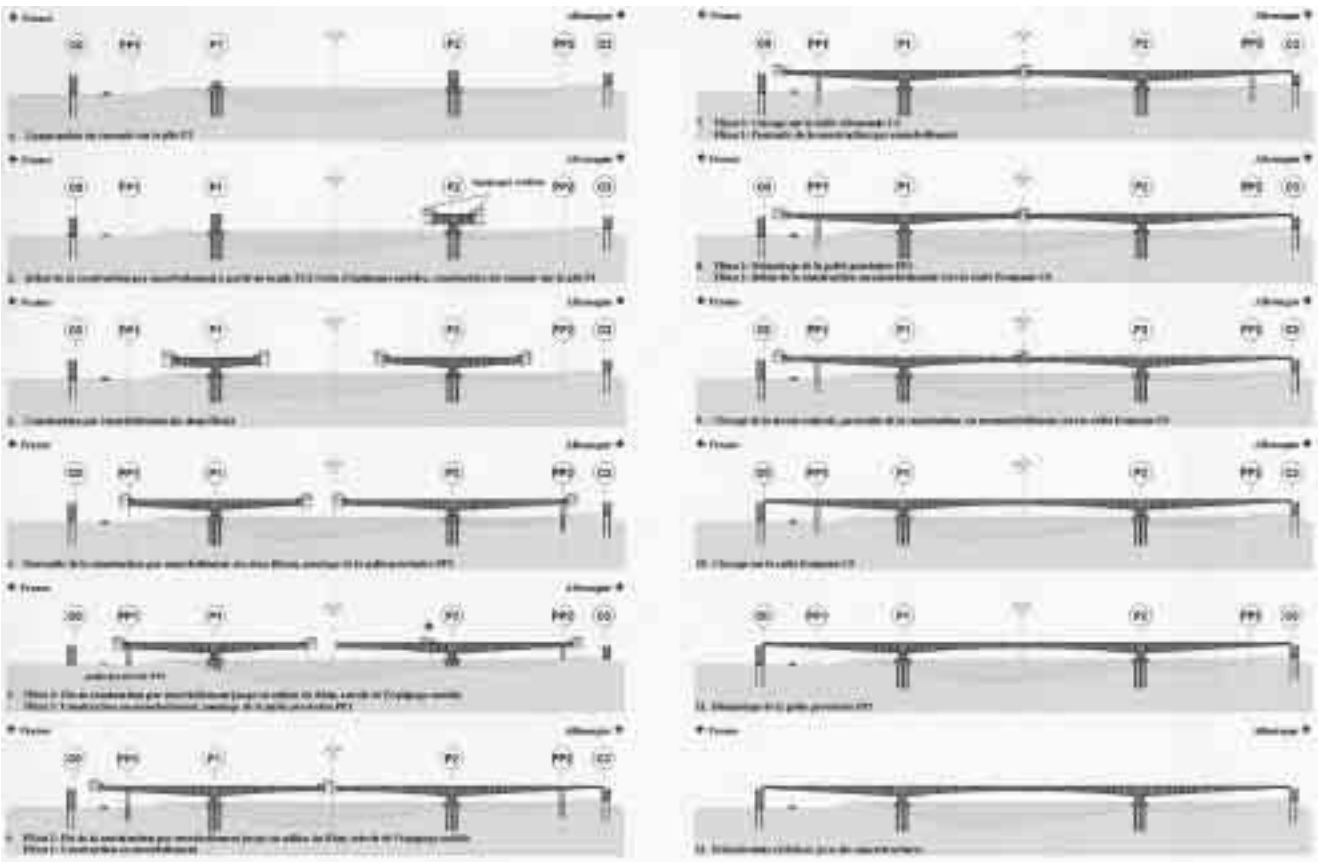
3.1.2. Transports - approvisionnements des bétons

La centrale fabriquant les bétons est installée côté France. Afin d'éviter un détour de 30 km par le pont de l'Europe, les camions-toupies livrant les bétons côté Allemagne traversent le Rhin à l'aide d'un bac. Côté Allemagne, ils accèdent directement à la pile dans le fleuve par un pont de service de 130 m de longueur.

Les bétons sont ensuite pompés jusqu'aux extrémités des fléaux en cours de construction, sur une distance maximale d'environ 130 m.

3.1.3. Manutentions

Deux grues à tour PEINER de 70 m de flèche assurent les levages nécessaires à la construction de chaque fléau. Côté Allemagne, la grue est directement ancrée sur la pile dans le fleuve.



Cinématique générale de construction



Le bac et le pont provisoire dans le Rhin



Voussoir sur pile - ferraillage

Pour les extrémités de fléaux situées hors de portée, les levages sont assurés à l'aide de grues automotrices circulant sur le tablier.

3.2. Réalisation des fléaux

3.2.1. Réalisation des voussoirs sur pile (VSP)

La faible hauteur des fûts de pile et les larges débords des semelles permettent la mise en place d'une plate-forme de travail "confortable" soutenue par des tours d'étaisements. D'une hauteur de 9,00 m pour une longueur de 9,50 m et une largeur de 13,00 m, les voussoirs sur pile s'apparentent à de véritables cathédrales, ils sont construits à l'aide de coffrages traditionnels en bois (panneaux de contre-plaqué bakélinés).

Chaque VSP, nécessitant plus de 600 m³ de béton, est construit en deux phases :

- D'abord le hourdis inférieur, les âmes, les entretoises et les oreilles latérales coiffant la ligne de 12 appareils d'appui ;
- Ensuite le hourdis supérieur et les raidisseurs associés.

La première phase cumule les difficultés compte tenu de la géométrie complexe des oreilles, du volume important de béton à couler (environ 440 m³), de l'existence de parties massives nécessitant des précautions vis-à-vis du dégagement de chaleur lors de la phase d'hydratation du ciment (le hourdis inférieur présente une épaisseur de 2,50 m, chaque oreille peut être assimilée à un parallépipède de 6 x 5 x 4 m), de la grande hauteur de la levée (8m), enfin du ferraillage très dense, notamment en partie inférieure où la répartition des descentes de charges sur les appareils d'appui est reprise par une "mégapoutre" ne comprenant pas moins de 5 lits superposés de 9 HA40.

Le béton est mis en œuvre à la pompe à l'aide d'un mât de bétonnage.

En raison de la grande hauteur des VSP, des goulottes de bétonnage rigides sont préalablement installées dans les âmes,

afin d'éviter la ségrégation du béton.

Afin de permettre un bétonnage correct des parties massives, des fenêtres permettent l'accès des compagnons à l'intérieur même du ferraillage pour assurer la vibration.

Celle-ci est assurée à l'aide de vibreurs externes fixés au coffrage et d'aiguilles vibrantes.

Au total, deux équipes de 20 compagnons chacune, se sont relayées pour assurer sans interruption le bétonnage durant plus de 20 heures.

Afin de permettre le transfert de charges du tablier sur les appareils d'appui définitifs, le VSP repose provisoirement sur des profilés HEM300 qui seront oxycoupés lorsque le tablier sera achevé.

La seconde phase a nécessité un soin particulier lors de la mise en place et du réglage géométrique des 14 paires de tubes déviateurs cintrés pour la précontrainte extérieure et des 32 paires de gaines pour la précontrainte intérieure.

Chaque VSP est bloqué transversalement et longitudinalement à l'aide de cales annulant les jeux résiduels par rapport aux butées sismiques ; puis est brélé à son fût de pile à l'aide de deux paires de câbles 10T15 formant des boucles dans le fût.

3.2.2. Réalisation des voussoirs courants

Les équipages mobiles

Les équipages utilisés outre-Rhin présentent quelques différences dans leur conception par rapport à ceux habituellement mis en œuvre en France :

- Ces outils rustiques et robustes, sont facilement réutilisables moyennant quelques adaptations (ceci semble lié à une plus grande standardisation des sections transversales des caissons construits en Allemagne) ;
- Le système de poutres maîtresses est du type "par dessus". L'encombrement des structures porteuses au-dessus des voussoirs à construire ne permet donc pas la pose de cages d'armatures préfabriquées en temps masqué ;

- Les coffrages métalliques sont bannis au profit de peaux de coffrages entièrement en bois ;
- Enfin, la vibration du béton des âmes est (en partie) assurée à l'aide de vibreurs externes fixés aux coffrages.

Ces caractéristiques confèrent une excellente adaptabilité des équipages à des configurations particulières telle que la longueur variable des voussoirs retenue ici.

Deux paires d'équipages conçus par la firme autrichienne VITO sont mises en oeuvre sur le chantier par Bilfinger + Berger.

Cycle de construction

De façon " classique ", le cycle de construction habituel d'une paire de voussoirs s'étend sur une semaine :

1^{er} jour (lundi) :

- mise en tension des câbles de fléau et des monotorons transversaux ;
- décintrement du voussoir, avancement de l'équipage jusqu'au nouveau voussoir et réglage à la géométrie du voussoir ;

2^{ème} jour :

- contrôle géométrique avant le lever du soleil ;
- ferrailage du hourdis inférieur et des âmes ;

3^{ème} jour :

- ferrailage du hourdis supérieur ;
- mise en oeuvre des gaines de précontrainte longitudinale et des monotorons transversaux ;

4^{ème} jour :

- bétonnage du voussoir en une seule opération.

5^{ème} jour :

- enfilage des câbles de fléau;

6^{ème} et 7^{ème} jours :

- durcissement et montée en résistance du béton.

La résistance à atteindre pour permettre la mise en tension varie de 43 MPa pour les voussoirs comportant des ancrages

dans les âmes à 23 MPa lorsque les ancrages sont situés dans les goussets.

Des délais beaucoup plus longs ont été nécessaires pour la réalisation des premiers voussoirs compte tenu des difficultés inhérentes à la grande hauteur des âmes, au grand nombre de gaines, à la nécessaire mise au point des ferrailages passifs, des méthodes et au " rodage " des équipes.

La réalisation simultanée des deux fléaux s'est avérée nécessaire pour respecter le délai d'exécution fixé par le contrat, compte tenu du retard pris par le groupement d'entreprises lors des premières phases de travaux.

Afin d'optimiser les moyens humains et matériels engagés sur le chantier et notamment permettre des rotations rationnelles des différents corps de métiers (coffreurs, poseurs d'armatures, fournisseurs de béton, équipes chargées de la précontrainte, géomètres...), Des cycles de construction répartis sur quatre jours ont été adoptés de façon à permettre un décalage moyen de l'ensemble des tâches de chaque fléau d'environ 2 jours aboutissant à des mises en tension de la précontrainte respectivement le samedi et le lundi.

La réalisation de l'ensemble des voussoirs a duré 10 mois.

Voussoir de clavage central

Le voussoir de clé est réalisé à l'aide de l'équipage côté France dont les coffrages sont bridés sur l'extrémité du fléau côté Allemagne.

Réalisation des travées de rive

L'achèvement du tablier dans les travées de rive ne fait pas appel à des cintres, compte tenu de l'interdiction de fonder des appuis provisoires sur la digue rive droite, de la grande hauteur du tablier au-dessus du terrain naturel en rive gauche.

Il est réalisé à l'aide des équipages mobiles par surencor-



Mise en place du premier équipage mobile



Vue aérienne des équipages mobiles



Les fléaux avant clavage central



Fléau côté Allemagne mi-juillet 2001

bellement, au-delà des palées provisoires situées respectivement à environ 80 m des appuis dans le fleuve, et ce, jusqu'aux voussoirs sur culée réalisés en dernier lieu à l'aide de coffrages traditionnels.

Palées provisoires

Côté Allemagne, la palée est constituée de tubes métalliques fondés dans le fleuve, entretoisés et contreventés en partie supérieure. En tête, 4 vérins Eberspächer de 500 t munis d'écrous de sécurité et couplés entre eux permettent d'assurer la répartition des efforts entre les tubes et autorisent d'éventuels réglages du fléau en cours de construction.

Côté France, la palée constituée d'un voile en béton armé est fondée sur des pieux également en béton.

Stabilité des fléaux au vent

Les palées sont dimensionnées en tenant compte de l'effet du vent turbulent sur les fléaux fortement dissymétriques en fin de construction. Les calculs conduits par le Setra à l'aide du programme " PCP " ont montré que le vent turbulent entraîne un déplacement latéral des fléaux voisin de 0,40 m au droit de la palée côté Allemagne, en l'absence de contreventement des tubes et dans l'hypothèse d'un déblocage du VSP sur la pile dans le fleuve.

Ceci a nécessité de prévoir un haubanage supplémentaire de cette palée, capable de reprendre un effort transversal de 36 t et de maintenir les cales provisoires de blocage latéral du fléau sur pile.

Câblage provisoire

Durant la réalisation des voussoirs de surencorbellement, la fibre supérieure du tablier se trouve tendue au voisinage des palées.

Chaque voussoir de surencorbellement est provisoirement précontraint à l'aide d'une ou deux paire(s) de câbles tendus d'un seul côté.

Cette précontrainte est détendue (à l'exception des câbles les plus longs) après mise en tension des câbles éclisses de la travée et suppression de la palée provisoire.

4. Bétons à hautes performances

Les avantages des bétons hautes performances (BHP) pour ce projet ont déjà été développés dans le bulletin OA n°37 d'avril 2001 auquel nous renvoyons le lecteur.

4.1. Formule

La formule s'inspirant de celle étudiée par le maître d'œuvre lors des études de faisabilité, mise au point par le fournisseur Fehr est la suivante :

| Constituant | Quantité (kg/m ³) | Provenance |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Sable 0/4 | 670 | Ballastière |
| Gravillon 4/8 | 280 | HELMBACHER-Eschau |
| Gravier 8/16 | 900 | |
| Ciment CPA - | 410 | LAFARGE Le Havre |
| CEMI 52,5 CP2 | | |
| Fumées de silice 595DP | 30 | CONDENSIL |
| Superplastifiant glénium 27 | 6,8 | MBT |
| Eau | 150 (consistance TP) | |
| | 155 (consistance fluide) | |

En vue de satisfaire les critères de prévention vis-à-vis de l'alcali réaction, la formule associe des granulats roulés du gisement rhénan, classés PRP, à des ciments à faible teneur en alcalins.

4.2. Convenances

Les épreuves de convenance comportaient la réalisation d'un demi-voussoir témoin dans des conditions représentatives des difficultés du chantier en vue de s'assurer de l'obtention effective de la qualité souhaitée des parements.

Le dégagement de chaleur lors de la phase d'hydratation du ciment a également fait l'objet de tests particuliers sur des blocs-témoins d'un mètre-cube équipés de sondes thermocouples reliées à des enregistreurs de températures.

Enfin, compte tenu de la grande hauteur des âmes (9m), la résistance des coffrages sous la poussée du béton frais fluide et l'absence de résurgence au niveau des surfaces non coffrées du hourdis inférieur ont été vérifiées par l'entrepreneur sur des modèles en vraie grandeur.

4.3. Fabrication

Elle est assurée par la Société de béton prêt à l'emploi Fehr disposant d'une centrale principale et d'une centrale de secours sur un site distant de 4 km du chantier. Ces centrales bénéficient d'un niveau d'équipement 3 au sens du fascicule 65A.

4.4. Bétonnages par temps chauds

Afin de limiter les inévitables baisses de résistance en période estivale, le retrait de dessiccation et la température du béton dans l'ouvrage à des valeurs inférieures à 70°, la température du béton frais livré sur chantier est limité à 25°C.

Plusieurs précautions sont prises en vue de respecter ces objectifs :

- Organisation des bétonnages très tôt le matin, avant les forts ensoleillements ;
- Protection des toupies et conduites de bétons par toile de jute et refroidissement par arrosage abondant ;
- Protection des équipages et du hourdis supérieur par bâches limitant la l'ensoleillement ;
- Cure soigneuse des surfaces non-coffrées (couverture par matelas isolants et arrosage).



Détail du parement architectural des âmes

4.5. Contrôles - principaux enseignements

Les résistances mécaniques se sont toujours avérées largement supérieures aux résistances contractuelles, la moyenne se situant aux environs de 85 MPa avec des valeurs dépassant 100 MPa pour f_c 28.

Les montées en résistance au jeune âge n'ont pas posé de difficulté vis-à-vis des cycles de construction que s'est fixé l'entrepreneur ($R_c \geq 50$ MPa généralement obtenue à 30 h). Les élévations de température lors de la phase d'hydratation, sont restées comprises dans des valeurs admissibles ($\leq 70^\circ\text{C}$), eu égard aux risques ultérieurs de développement d'attaques sulfatiques des bétons. Enfin, les problèmes de consistance ont été correctement maîtrisés tout au long du chantier.

Globalement, on retiendra un bilan très largement positif pour les BHP mis en oeuvre en grande masse pour la première fois en Alsace en rappelant qu'aucun des intervenants (centrale BPE, entrepreneurs, laboratoires) ne disposait d'expérience au démarrage du chantier.

De nombreux autres points particuliers et enseignements liés à la construction de ce tablier sortant de l'ordinaire mériteraient d'être abordés mais ne peuvent être développés dans ces colonnes pour des questions de place.

Aussi, nous renvoyons le lecteur à l'article complet publié dans la revue Travaux – n° 787- février 2002.

5. Quelques points particuliers de la construction

5.1. Parements architecturés des âmes

La grande hauteur du caisson - jusqu'à 9 m au droit des piles - laissait craindre des difficultés pour l'obtention de parements de bonne qualité si ceux-ci étaient réalisés à l'aide de coffrages métalliques lisses. Aussi, la maîtrise d'oeuvre a prescrit l'emploi de coffrages architecturés sur toute la hauteur des âmes excepté des liserés supérieur et inférieur correspondant sensiblement à l'épaisseur des hourdis respectifs.

A l'issue de plusieurs épreuves de convenance, notre choix

s'est finalement porté sur un coffrage architecturé réalisé à l'aide de planches de bois brutes de sciage de 12 cm de largeur, disposées verticalement.

Le chanfreinage des planches crée un relief animant les parements et accrochant la lumière. Par ailleurs, la texture rugueuse du parement et le caractère poreux du bois atténuent les inévitables défauts d'aspect (marbrures, variations de teintes) liés à l'utilisation d'un béton hautes performances comportant des fumées de silice.

Le résultat final est à la hauteur des espérances.

5.2. Bétonnage des voussoirs courants

Les voussoirs sont coulés en une seule opération. Compte tenu de la grande hauteur des âmes, des résurgences du béton frais étaient à craindre au niveau des surfaces non coffrées du hourdis inférieur. Par ailleurs, la forte pente longitudinale des premiers voussoirs était susceptible de poser des difficultés de tenue du béton frais. Aussi, le béton est mis en œuvre en recourant à deux consistances :

- Plastique (correspondant à un étalement 43 cm) pour le hourdis et les goussets inférieurs,
- Fluide pour les âmes et le hourdis supérieur (étalement 55 cm).

Ces précautions ont permis de résoudre correctement ces difficultés sauf pour les voussoirs les plus hauts. Un coffrage "par-dessus" s'est avéré nécessaire pour assurer le maintien du béton.

5.3. Ferrailage du hourdis inférieur

Pour limiter l'apparition de fissures dues au fort retrait thermique lors de la prise du BHP, une cure soignée a été respectée et un ferrailage minimum transversal de 0,5 % a été mis en œuvre dans le hourdis inférieur. Malgré la forte augmentation de température ce minimum s'est avéré largement suffisant.

5.4. Contrôle de la géométrie des fléaux - respect du profil en long final

Au cours de sa construction, le tablier subit d'importantes déformations liées à la portée inhabituelle de 205 m, à la souplesse des fléaux dans les travées de rive et à la cinématique particulière retenue. Du fait du clavage du fléau sur culée en premier lieu, la suppression de la palée provisoire côté Allemagne s'accompagne d'un relèvement de l'extrémité opposée du fléau de près de 0,40 m !

Il convient donc de relever au cours de toutes les phases constructives les profils en long réels des fléaux et de les comparer avec les profils en long théoriques afin de déceler d'éventuelles dérives et d'apporter les corrections nécessaires à temps. Ceci est d'autant plus important que les deux fléaux

sont construits simultanément à des cotes différentes et que les actions correctives ultérieures demeurent très restreintes. Pour ce, des nivellements de précision de tous les joints de voussoir sont réalisés de façon hebdomadaire. Les écarts constatés sur chantier sont rapportés sous forme de graphiques afin de faciliter l'analyse et la recherche des causes possibles des variations par les bureaux d'études.

Les paramètres pouvant influencer la géométrie des fléaux en cours de construction sont en effet multiples et peuvent parfois être combinés (variations des densités, coefficients de fluage, modules d'élasticité du béton, coefficients de frottement des câbles de précontrainte, défauts ponctuels liés à une possible erreur de réglage des équipages, gradients thermiques, surcharges de chantier, tassements d'appui... Voir des erreurs de nivellement !).

Les quatre derniers facteurs cités sont éliminés en procédant systématiquement aux relevés tôt le matin avant ensoleillement de l'extrados (des relevés comparatifs réalisés en plein été avec des variations de température extérieure de 20°, ont fait apparaître des écarts de l'ordre de 3 cm en extrémité de fléau alors long de 130 m), en disposant les grues mobiles et les autres charges de chantier sur ou à proximité du VSP lors des mesures, en nivelant systématiquement les appuis, enfin en procédant à une double vérification par des géomètres dans le cadre des contrôles intérieur et extérieur.

Chaque écart significatif du profil en long par rapport aux prévisions a fait l'objet d'analyses par les bureaux d'études de l'entreprise et ceux de la maîtrise d'œuvre et les notes des contre-flèches sont corrigées en ajustant en tant que de besoins les hypothèses de calculs initiales.

Par exemple, la densité réelle des bétons s'est avérée plus faible que prévue (2,54 au lieu de 2,63), les modules d'Young également (38 600 MPa mesuré sur éprouvettes, 48 000 MPa lors de l'essai de chargement en cours de construction, au lieu de 43 000 MPa, prévus dans les calculs (application du BPEL)), les coefficients de frottement des câbles de fléaux meilleurs. On notera qu'il ne faut pas intégrer le poids de la précontrainte extérieure dans le calcul de la densité du béton.

5.5. Clavage central

Des mesures conservatoires ont été prises pour permettre l'alignement des fléaux avant bétonnage du voussoir de clé de sorte à ne pas créer d'accident du profil en long :

- La dernière paire de câbles du fléau côté Allemagne a été tendue à 40 % de l'effort nominal (disposition rendue possible compte tenu des excellents coefficients de transmission mesurés tout au long de la construction du fléau) ;
- Les gaines vides ont été équipées d'ancrages de sorte à permettre l'éventuelle mise en tension de câbles supplémentaires ; (les mesures effectuées lors du chantier montraient que la mise en tension d'une paire de câbles à 100 % de l'effort nominal permettaient de relever l'extrémité du fléau de l'ordre de 5 cm) ;

- Enfin des corrections supplémentaires des fléaux par actions dans les travées de rive demeuraient possibles grâce aux vérins des palées provisoires.

L'ensemble de ces précautions autorisaient une marge de réglage altimétrique de l'ordre de 10 cm au droit du clavage central.

A l'issue du déchargement de la palée située dans la travée de rive allemande l'extrémité opposée du fléau s'est élevée de 40 cm et se trouvait correctement alignée avec le fléau français déjà terminé.

Une ultime correction a toutefois été apportée avant bétonnage du clavage pour tenir compte des flèches différentielles prévisibles sous le poids du béton mou liées à des souplesses différentes du tablier dans les travées de rive pour chaque fléau (du côté allemand, la travée de rive sur appuis définitifs présente une portée de 131m alors que du côté français, la travée en appui provisoire sur la palée présente seulement une portée de 75,25 m).

La correction a consisté à mettre en charge la palée provisoire du fléau allemand avec un effort de 100 tonnes. A l'issue du bétonnage, les mesures de pression d'huile des vérins de la palée ont permis de s'assurer que cette réaction s'annulait et qu'aucun effort parasite n'était enfermé dans la structure.

L'ensemble des précautions prises a permis d'assurer le profil en long théorique dans le respect des tolérances prévues.

Par ailleurs, afin de limiter la fissuration du béton au jeune âge liée aux déformations des fléaux sous l'effet des variations de température d'une part, du gradient thermique d'autre part ; le bétonnage est survenu très tôt le 20 novembre 2001 et deux paires de câbles éclisses (sur cinq) ont été tendues moins de 12 heures plus tard.

Les conditions climatiques quasi-hivernales (amplitude thermique inférieure à 4 °C) de cette journée furent très favorables par rapport aux hypothèses prises en compte dans les calculs et aucune fissuration n'a été relevée.

Le voussoir de clavage a été instrumenté à l'aide de 10 cordes-vibrantes permettant de vérifier les redistributions d'efforts dans cette section sensible au cours des phases ultérieures de construction et pendant la durée de vie d'ouvrage.

5.6. Contrôle de la mise en œuvre de la précontrainte

5.6.1. Mesures de dispersion de tension entre les torons d'un même câble

Les torons sont enfilés de façon individuelle dans les gaines de précontrainte (chaque toron est poussé à l'aide d'une enfileuse automatique puis retiré sur environ un mètre afin d'éliminer le mou).

En raison de la longueur inhabituelle des câbles de fléau, des mesures de dispersion de tension entre torons ont été entreprises sur les câbles du 1^{er} fléau aux environs de 50, 110, 150 et 190 m afin de s'assurer que le mode d'enfilage ne crée pas de surtension pour certains torons du fait de possibles croisements des torons ou défauts de rattrapage de mou.

Pour des questions de sécurité, les câbles testés sont dans un premier temps tendus d'un seul côté à 0,4 fois la force de rupture garantie et des pesées des torons sont réalisées sur l'ancrage opposé à l'aide d'un verin monotoron, chaque toron étant déclaveté au cours de cette opération.

Par extrapolation à la tension finale des résultats obtenus, ces mesures ont permis de s'assurer que pour la totalité des câbles testés - y compris pour les plus longs - les dispersions n'excédaient pas $\pm 8 \%$ de la force initiale et que les torons n'étaient pas sollicités au delà de la limite d'élasticité.

5.6.2. Mesures des coefficients de transmission

Le marché fixait un programme de mesures de coefficients de transmission concernant les différentes unités mises en œuvre afin de s'assurer que la précontrainte effective soit cohérente et proche de celle prise en compte pour les calculs du tablier.

Pour les câbles intérieurs de fléau, les coefficients réels se sont toujours avérés supérieurs aux coefficients théoriques avec des écarts pouvant dépasser 20 % dans le cas des câbles longs très peu déviés.

Cet excès de précontrainte ayant tendance à relever le profil



Rencontre au dessus du Rhin...

en long des fléaux, les notes de contre-flèches ont été corrigées en tenant compte des valeurs plus réalistes. Par contre, pour les câbles éclisses les coefficients de transmission sont proches de ceux prévus.

5.7. Protection des câbles de précontrainte extérieurs contre la corrosion

Comme cela fut déjà le cas pour le viaduc d'accès français, les câbles de précontrainte extérieurs sont injectés à la cire pétrolière.

5.8. Les études ouvrages provisoires

Le marché prévoyait le contrôle systématique des études des ouvrages provisoires par un organisme de contrôle externe. Ce contrôle a été réalisé par le bureau GBP pour les ouvrages provisoires (O.P.) conçus par le groupement, par le bureau Bilfinger SCT pour les O.P. conçus par des sous-traitants ou des fournisseurs.

Fruit d'une longue coopération entre les services routiers français et allemands lors de la mise au point du projet, puis entre les entrepreneurs des deux pays lors de sa réalisation, le pont " Pierre PFLIMLIN " achevé à l'aube du vingt et unième siècle, devrait figurer à une place honorable parmi les grands ouvrages du patrimoine des deux pays. Conformément au traité conclu entre les deux pays, la France assurera la maintenance et l'exploitation du nouvel ouvrage – mis en service le 10 octobre 2002 – durant les dix premières années.

Principales quantités mises en œuvre pour le tablier du pont principal

| | Quantités | |
|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Béton B65 | 7 750 m ³ | (1,15m ³ /m ²) |
| Aciers passifs | 913 000 kg | (118 kg/m ³) |
| Aciers actifs | 598 000 kg | (77 kg/m ³) |
| Coffrages fins | 8 300 m ² | |
| Coffrages ordinaires | 8 000 m ² | |

Principaux intervenants

Maîtrise d'ouvrage :

- République Française - Ministère de l'Équipement - Direction des Routes -
- Land de Bade-Wurtemberg - Ministère de l'Environnement et des Transports.

Représentant des maîtres d'ouvrages pour la construction du pont principal franco-allemand sur le Rhin

DDE du Bas-Rhin

Maîtrise d'œuvre :

DDE du Bas-Rhin - Service des Grands travaux

Assistances particulières à la maîtrise d'œuvre lors de la phase de réalisation des travaux :

Contrôle des études d'exécution des structures

- Setra (tablier)
- Sncf/COREDIA (appuis et fondations)

Mises au point architecturales :

Philippe FRALEU, architecte

Contrôle extérieur des travaux
LRPC Strasbourg

Contrôles topographiques
Cabinet Klopfenstein et Sonntag

Coordination sécurité et protection de la santé
OTE

Titulaire des marchés de travaux (pont principal et viaduc d'accès français)
Groupement d'entreprises Bilfinger + Berger et Max Früh

Principaux sous-traitants et fournisseurs

| | |
|--------------------------------------|---|
| Etudes d'exécution : | Europe Etudes GECTI / SIMECSOL |
| Travaux fluviaux : | OHF |
| Palplanches rive droite : | Moebius |
| Fourniture des palplanches : | Arbed |
| Terrassements : | Kaiser |
| Fondations : | Grund und Phalbau |
| Injection des pieux : | Erkelzenzer |
| Précontrainte, joints de chaussées : | Freyssinet |
| Fabrication des bétons : | Fehr |
| Coffrages : | Peri |
| Fabrication des appareils d'appui : | FIP |
| Armatures passives : | Ruhl (façonnage) Ünlütürk (pose) |
| Travaux topographiques : | Kappis |
| Contrôles externes béton : | SOLEN LEM |
| Corniches, garde-corps : | DR Equipment |
| Equipements électriques : | SDEL-Alsace |
| Béton bitumineux : | Burger |
| GBA : | SGREG |
| Etanchéité du tablier : | Schubel (parties circulées), Etandex (rives) |

Une structure mixte innovante : le viaduc de franchissement de la vallée de la Marne à Meaux



MICHEL PLACIDI,
JEAN-PIERRE COMMUN,
DANIEL LECOINTRE,
JÉRÔME PETITJEAN,
OLIVIER BERTHELOT,
JEAN-YVES SABLON

1. L'opération "déviation sud-ouest de Meaux"

Située dans un méandre de la marne, à 40 km à l'est de Paris, la ville de Meaux, sous-préfecture du département de Seine-et-Marne, bénéficie d'une situation géographique privilégiée qui l'a conduit à être, dès l'antiquité, un carrefour important. Aujourd'hui encore, plusieurs itinéraires de transit, chargés d'un fort trafic, convergent vers le centre de la ville de Meaux : la RN3 d'ouest en est, la RN330 au nord-ouest, la RN36 au sud ; il en résulte inévitablement, aux heures de pointe, des conditions de circulation difficiles.

Pour remédier à cette asphyxie croissante du centre-ville de Meaux, un projet de grand contournement routier de la ville, reliant la RN36 au sud à la RN3 à l'est en contournant l'agglomération par l'ouest, a vu le jour, grâce à la volonté commune de quatre cofinanceurs (Etat, Région Ile-de-France, département de Seine-et-Marne, ville de Meaux). La réalisation de ce contournement s'inscrit dans le cadre des XI^{ème} et

XII^{ème} Contrats de Plan Etat-Région, et devrait être achevée à l'horizon 2004.

Il est estimé que la réalisation de ce projet déléstera le trafic dans la ville de Meaux de quelque 3000 véhicules à l'heure de pointe, avec pour conséquences des nuisances réduites et une sécurité accrue pour usagers et riverains.

La Déviation sud-ouest de Meaux est le tronçon de ce grand contournement qui est réalisé sous la maîtrise d'ouvrage de l'Etat. Il s'agit d'une section autoroutière à 2x2 voies, élargissable à 2x3 voies, d'une longueur d'environ 6 kilomètres, devant relier l'autoroute A140 au sud de Meaux à hauteur de la commune de Quincy-Voisins, à la RD5 sur la commune de Villenoy, à l'ouest de la Marne.

La déviation sud-ouest de Meaux est inscrite au Schéma Directeur de la Région Ile-de-France (SDRIF), en tant que maillon d'une future 4^{ème} rocade est de l'Ile-de-France devant relier à terme les autoroutes A1, A4, A5 et A6.

L'opération a été déclarée d'utilité publique le 28 janvier 1999.



Le coût du projet a été estimé à 130 millions d'euros (financement : 30 % Etat, 70 % Région Ile-de-France).

2. L'ouvrage de franchissement de la vallée de la Marne

Le tracé de la Déviation sud-ouest de Meaux se débranche depuis l'autoroute A140 vers l'ouest au nord de la commune de Quincy-Voisins, en s'enfonçant profondément dans le coteau. Au sud de la commune de Mareuil-lès-Meaux, il franchit une énorme brèche naturelle : la vallée de la Marne, en aval de la ville de Meaux.

La solution retenue pour ce franchissement a été la construction d'un ouvrage exceptionnel et spectaculaire : un viaduc de 1200 mètres de long, ayant pour tracé en plan un arc de cercle de rayon 1000 mètres, et présentant une pente longitudinale de 2,03 % de l'est vers l'ouest.

Ce viaduc franchira successivement, d'est en ouest, le VC4 au sud de Mareuil-lès-Meaux, le canal de Meaux à Chalifert, la Marne, la voie SNCF Paris-Strasbourg et le canal de l'Ourcq. Au niveau des plus hautes piles, la plate-forme autoroutière surplombera la vallée d'environ 30 mètres. La culée Est de ce viaduc prend appui sur un remblai sur la pente du coteau des Nolongues à Mareuil-lès-Meaux, et la culée ouest sur la rive ouest du canal de l'Ourcq, au milieu des bassins de décantation de la sucrerie Béghin Say de Villenoy.

L'étude préliminaire de cet ouvrage d'art non courant, réalisée conjointement par le Setra, la DRE Ile-de-France et la DDE de Seine-et-Marne, a été approuvée par décision ministérielle du 17 juillet 1998. Pour la suite de l'étude, il a été décidé de déroger à la circulaire du 5 mai 1994, qui définit les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissement sur le réseau routier national non concédé.

3. Dans le cadre de la "politique innovation de la direction des routes", un appel d'offres sur performances

3.1. Motivation de la procédure

Le viaduc de Meaux a été choisi pour sa taille, ses caractéristiques géométriques, la qualité du site qu'il traverse et l'adéquation de son calendrier d'études avec le lancement d'une procédure d'appel d'offres sur performances.

Sur proposition du Service d'Etudes Technique des Routes et Autoroutes (Setra), le Directeur des Routes a en effet décidé d'inscrire la construction du viaduc de Meaux dans une démarche d'innovation, promue en partenariat avec les entreprises du BTP dans le cadre de la charte " Innovation Ouvrages d'Art ".

La proposition du Setra soulignait l'importance du maintien des capacités d'innovation des entreprises, et la difficulté d'exprimer celles-ci dans le cadre d'un appel d'offres classique.

Comme exemple, la démarche performancielle utilisée par la Société des Autoroutes du Nord et de l'Est de la France (SANEF) a débouché sur l'utilisation de techniques innovantes pour deux viaducs de l'autoroute A 16.

Les caractéristiques du viaduc de Meaux le rendaient particulièrement intéressant pour une démarche d'innovation (grand ouvrage, nécessitant une approche architecturale soignée, mais permettant de nombreux choix quant à sa technique de réalisation).

Conformément à l'article 99 de l'ancien Code des Marchés Publics, sur un motif d'ordre technique, la consultation a été lancée sur la base d'un programme fonctionnel détaillé, les entreprises devant proposer un projet répondant à ce programme. Toutefois la Direction Départementale de l'Équipement (DDE), avec l'assistance du Setra, de la Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF) et du Laboratoire Régional de l'Est Parisien (LREP) avait établi préalablement à l'appel d'offres l'étude préliminaire de l'ouvrage, les études nécessaires à l'élaboration du programme fonctionnel ainsi que deux solutions techniques de référence annexées au dossier de consultation des entreprises.

Les concurrents n'étant pas tenus de répondre sur ces deux projets de référence, l'appel d'offres portait sur l'établissement

d'un projet et son exécution conformément au 2^{ème} alinéa de l'article 99. L'intégration à la démarche de la promotion de l'innovation s'est traduite par la prise en compte de celle-ci parmi les critères de jugement.

Il était en outre précisé que la DDE devait assurer la maîtrise d'œuvre du projet ainsi que la direction de l'exécution des travaux (le Setra et la DREIF l'assistant pour le contrôle des études d'exécution et de méthodes, le LREP pour le contrôle de la qualité des matériaux mis en œuvre), la consultation débouchant sur un marché de travaux classique.

Le choix de la procédure a été acté par la décision ministérielle du 17 juillet 1998 qui a approuvé l'EPOA du viaduc de Meaux.

3.2. Les critères de l'appel d'offres

Les critères de jugement des offres dans l'ordre décroissant étaient :

3.2.1. Qualité technique de l'ouvrage terminé (sans que ces critères ne soient classés par priorité)

- . Adéquation avec le programme fonctionnel
- . Durabilité
- . Sécurité apportée par le dimensionnement
- . Caractère innovant

3.2.2. Qualité esthétique de l'ouvrage et respect du site sur le plan architectural et paysager

3.2.3. Prix

3.2.4. Dispositions d'exécution propres à assurer :

- . La qualité de réalisation
- . La sécurité des ouvriers et des usagers des voies franchies
- . La réduction des atteintes à l'environnement

3.2.5. Coût de maintenance et d'utilisation

3.2.6. Délai d'exécution

3.3. Mode d'évaluation des critères

Le critère éliminatoire était le respect du programme fonctionnel. Celui-ci définissait les données générales que sont le profil en long, les gabarits, et les différentes contraintes du site (réseaux, exploitation des canaux et de la voie SNCF, ...). Toutes les offres respectaient les contraintes à quelques exceptions mineures, et corrigées dans la seconde offre.

Afin d'évaluer la qualité technique des offres, une équipe constituée par le Setra et la DREIF a analysé chaque offre de façon très détaillée.

D'une part sur la conception générale, chaque projet a été examiné en détail sur la pertinence :

- Validité de la conception générale et des méthodes de construction (élancement, balancement, flexion générale des tabliers, appuis, fondations profondes, équipements ...),
- Analyse critique des méthodes de réalisation pour assurer la qualité de la réalisation, la sécurité des ouvriers et des usagers des voies franchies en cours de travaux, ainsi que la réduction des atteintes à l'environnement (accès, méthodes d'exécution, terrassements),
- Conformité au programme fonctionnel et notamment en ce qui concerne la géométrie : tracé, profil en long, gabarits, respect de l'emplacement des culées (dans la bande prévue) et de l'emprise des remblais d'accès, largeurs fonctionnelles, etc...,
- Vérification des hypothèses de calcul, puis du dimensionnement (calcul et dispositions constructives) pendant les phases de construction et en service.

D'autre part, les détails de conception ont fait l'objet d'un contrôle minutieux (assemblage, bossage, braconnage, ...). Ce dernier point a été regardé de façon d'autant plus précise que la solution ou son mode de construction est innovant (des calculs contradictoires ont été menés lorsque cela était jugé nécessaire).

Une fois la conception générale et le dimensionnement contrôlés, ont été vérifiés plus en détail les points suivants :

- Plans des appuis et du tablier et notamment conception des assemblages,
 - Validation des dispositions constructives : accès, installations de chantier, terrassements (emprise) et mise en décharge, hygiène et sécurité, respect environnemental,
 - Validation des descentes de charge puis vérification du dimensionnement des fondations,
 - Validation de l'avant-métré ainsi que des éléments essentiels du CCTP, du planning d'exécution et du contenu des prix.
- Pour noter la qualité esthétique des projets, un architecte et un paysagiste ont utilisé les planches qui étaient demandées dans l'offre comportant des rendus architecturaux ainsi que des insertions dans le paysage sur les photos fournies dans le DCE. De plus les architectes de chaque projet devaient remettre un mémoire pour expliciter leur choix et les raisons qui les avaient conduits à choisir les différents aspects architecturaux de l'ouvrage.

Enfin, pour estimer le critère prix, qui n'arrivait ici qu'en troisième position, la DDE a dû vérifier les avant-métrés fournis dans les offres et éventuellement intégrer les quantités à ajouter suite à l'analyse technique (ajout de précontrainte, de ferrailage, ...) ou les oublis.

4. La solution proposée : une structure mixte en béton précontraint à âmes "plano-tubulaires"

A l'issue de l'examen détaillé des huit projets proposés, de l'audition par le jury des huit entreprises et de l'analyse des réponses aux questions posées, la solution retenue a été celle

présentée par l'entreprise RAZEL, associée à l'architecte Berdj Mikaelian, avec pour bureau d'études le bureau d'études de l'entreprise, RAZEL techniques et méthodes. Ce projet comporte une structure mixte associant béton précontraint et métal, mais de conception originale : la poutre à "âmes plano-tubulaires".

Le tablier de l'ouvrage se présente comme une poutre continue unique en béton précontraint de 1.200 m de longueur totale entre axes des culées extrêmes. Cette poutre continue de hauteur constante égale à 4,50 m, a une section transversale en mono caisson tubulaire et une largeur totale de 31,10 m.

La section transversale de ce tablier est constituée d'un hourdis supérieur supportant la chaussée et d'un hourdis inférieur, tous deux en béton, de deux âmes verticales métalliques de conception originale, appelées "âmes plano-tubulaires", et de quatre bracons diagonaux intérieurs et extérieurs destinés à soutenir le hourdis supérieur et à assurer en même temps le contreventement de la structure en lui conférant une très grande rigidité. Ces bracons, intérieurs en béton et extérieurs métalliques, en forme de w, sont disposés dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'ouvrage, tous les 3,105 m.

Le tablier comporte 22 travées de portées légèrement variables, compte tenu des contraintes d'emprises au sol, mais comprises entre 49 et 55 m à l'exception de la travée sur la marne, dont la portée est de 93 m et de la travée de rive est, dont la portée est de 34 m.

L'axe en plan de l'ouvrage est un cercle de rayon 1.000 m, son profil en long est une droite de pente constante, ascendante depuis la culée C0, à l'ouest, vers la culée C22, à l'est, suivant une pente de 2 %.

Le tablier est préfabriqué par tronçons successifs et mis en place par poussage.

4.1. La section transversale du tablier

La section transversale du tablier est formée d'un caisson monocellulaire rectangulaire comportant deux âmes verticales, de 12,50 m de largeur entre axes des âmes, reliant les deux hourdis et contreventées intérieurement de façon quasi continue par les bracons diagonaux, disposés suivant des

V renversés. Les bracons intérieurs en béton sont connectés aux hourdis par des armatures en attente alors que les bracons extérieurs métalliques le sont au moyen de platines comportant des goujons.

La section comporte en outre, de part et d'autre du caisson central, de larges encorbellements latéraux soutenus tous les 3,105 m par les bracons extérieurs.

Le hourdis supérieur, sur ses 31,10 m de largeur, a une pente transversale constante de 2,5 %, suivant le dévers général du tablier. Son épaisseur est variable, de 22 cm dans les parties courantes, à 60 cm au droit des âmes, 70 cm au droit des bracons intérieurs et 72 cm au droit des bracons extérieurs, avec des goussets de raccordement droits. Il est précontraint transversalement au moyen de câbles 4 T 15 S formés de torons de classe 1860 MPa, disposés tous les mètres. Il est en outre renforcé à ses extrémités latérales par un épaissement à 25 cm sur 45 cm de largeur et sur toute la longueur du tablier, pour permettre l'ancrage des câbles de précontrainte transversale et reprendre les efforts d'ancrage des poteaux des barrières BN 4.

Le hourdis inférieur, de 13,80 m de largeur, comporte deux talons de 1,30 m de large, centrés sous les âmes, reliés par une dalle dont l'épaisseur varie de 20 cm en partie centrale jusqu'à 50 cm à l'extrémité des goussets de raccordement droits. Les talons latéraux ont une sous-face à trace horizontale de façon à se développer longitudinalement suivant le profil en long de l'ouvrage en formant une hélice, et permettant ainsi le poussage de la structure.

4.2. Les âmes plano-tubulaires

Les "âmes plano-tubulaires", protégées par un brevet, sont constituées d'une succession de panneaux de tôles métalliques planes de 1,05 m de longueur et 3,06 m de hauteur, et de 20 ou 25 mm d'épaisseur selon leur position dans la structure, reliées entre elles par des tubes métalliques de 508 mm de diamètre et de 12,7 mm d'épaisseur, d'axe vertical.

Ces panneaux mixtes (tôle plane / tube) comportent en partie supérieure des platines en tôles métalliques permettant leur liaison aux hourdis en béton par l'intermédiaire de

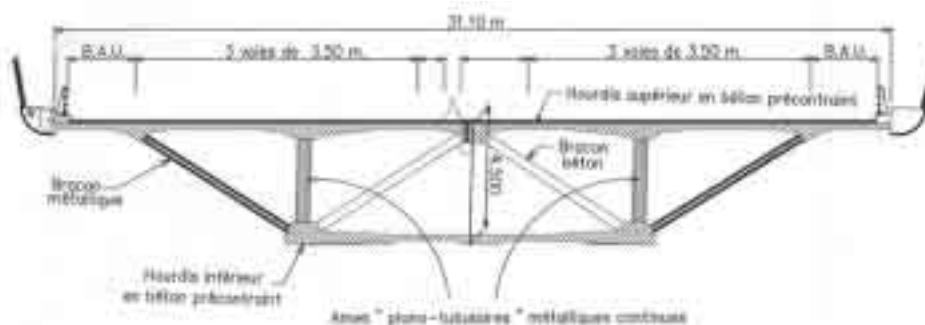


Figure 1 : section transversale du tablier

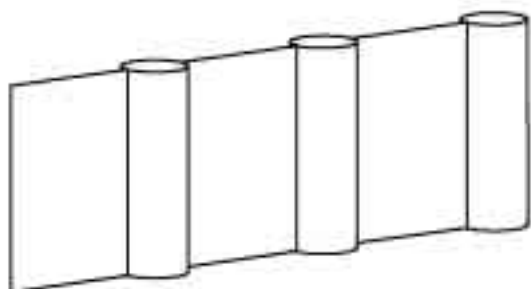
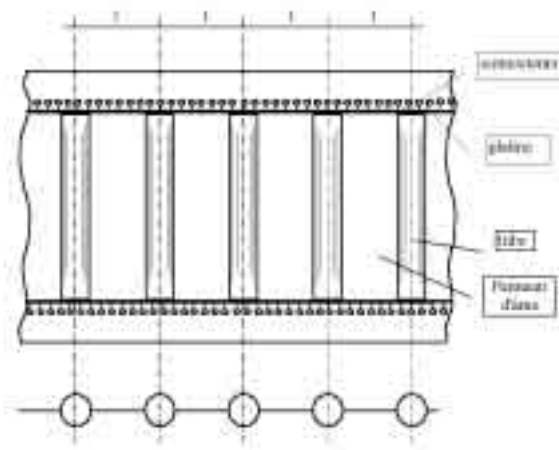


Figure 2 : principe des âmes plano-tubulaires



connecteurs goujons. La connexion de ces âmes au béton du hourdis inférieur se fait par pénétration directe de l'âme à l'intérieur du nœud avec des goujons horizontaux

Les éléments des panneaux d'âmes plano-tubulaires, tôles, tubes et platines, sont en acier de nuance S355. L'ensemble des éléments métalliques de la structure est protégé contre la corrosion par un complexe à trois couches de peinture époxy. Les connexions haute et basse des tubes et des panneaux plans assurent une répartition uniforme des contraintes de cisaillement sur toute la hauteur du panneau.

Les tubes verticaux sont disposés tous les 1,55 m. Leur déformabilité radiale permet par ovalisation d'absorber, sans aucune opposition, et donc sans effort, les déformations longitudinales imposées ou subies par le béton, provenant soit de la précontrainte, soit des variations thermiques, du retrait ou du fluage.

De ce fait, les efforts de précontrainte passent essentiellement dans les hourdis en béton ce qui accroît leur efficacité, et d'autre part, la concentration de la matière donnant de l'inertie aux points haut et bas de la section confère à cette dernière un rendement mécanique extrêmement élevé.

Parmi les autres avantages apportées par la conception de ces âmes, on peut noter que la présence des tubes verticaux régulièrement espacés offre un raidissage naturel du panneau d'âme, ce qui permet de s'affranchir des raidisseurs verticaux classiques.

De même, ces tubes confèrent une certaine rigidité transversale au panneau d'âme dans lequel il est alors possible d'encastrier, au moins partiellement, le hourdis inférieur pour assurer le fonctionnement de la structure en caisson.

Une telle structure, en outre sensiblement plus légère qu'une structure classique en béton, permet de réduire la quantité de précontrainte nécessaire tout en améliorant le comportement des matériaux béton et acier qui travaillent essentiellement dans leur domaine privilégié de fonctionnement. Si le but recherché est le même et le principe général de

fonctionnement est assez comparable à ceux des âmes plissées développées par Campenon Bernard, les moyens d'y parvenir et les résultats sont assez sensiblement différents :

- . Sur le plan de la fabrication il s'agit de produits courants - tôles et tubes - assemblés suivant des procédés courants - soudures, ne nécessitant aucun outillage spécifique

- . Sur le plan des limites du procédé, de par sa conception même, il n'y a pas de limite quant à l'épaisseur des tôles ou celle des tubes, ni de limites quant aux dimensions des pièces proprement dites

- . Sur le plan du fonctionnement même, la transmission des efforts tranchants et des contraintes de cisaillement s'effectue de façon parfaitement symétrique sans aucun risque de voilement et par ailleurs la non rigidité longitudinale étant obtenue par l'ovalisation des tubes, il n'y a aucun risque de fatigue du fait de la non concentration de ces déformations.

4.3. La précontrainte longitudinale

La précontrainte longitudinale du tablier est formée de deux familles de câbles :

- . Les câbles de première phase mis en œuvre avant poussage de la structure, au fur et à mesure de la construction des plots successifs du tablier

- . Les câbles de seconde phase mis en œuvre après poussage de la structure, le tablier étant dans sa position définitive.

Les câbles de la première famille sont du type 12T15S, de classe 1860 MPa, intérieurs au béton, disposés dans le hourdis supérieur et le hourdis inférieur et de tracé sensiblement droit. En partie courante, cette famille comporte vingt câbles, filants sur toute la longueur de l'ouvrage, dont douze disposés dans le hourdis supérieur et huit dans le hourdis inférieur. En partie avant du tablier au poussage, dans la zone " perturbée " par la console et l'avant-bec, on a un renforcement de cette précontrainte de première phase portant à trente deux le nombre total de câbles, dont vingt dans

le hourdis supérieur et douze dans le hourdis inférieur. Les câbles du hourdis supérieur de la partie courante sont répartis dans les cinq nervures longitudinales situées dans l'axe du caisson central, au droit des âmes et dans les encorbellements latéraux, au droit des points d'appuis des bracons extérieurs. Cette disposition des câbles en cinq poutres permet d'assurer une parfaite répartition de la précontrainte sur toute la largeur du hourdis et une très bonne diffusion des efforts appliqués. Les huit câbles du hourdis inférieur sont placés dans les nœuds inférieurs sous les âmes plano-tubulaires, quatre câbles dans chaque nœud. Les câbles du hourdis supérieur sont ancrés dans la tranche des arrêts de bétonnage et couplés les uns aux autres, afin d'éviter des bossages doubles encombrants, ces couplages étant réalisés de façon à ce que l'on n'ait jamais plus de deux coupleurs dans la même section, chaque câble ayant, en moyenne la longueur de six plots de bétonnage. Les câbles du hourdis inférieur sont ancrés de façon classique dans des bossages doubles, assurant ainsi leur recouvrement et une parfaite continuité de l'effort de précontrainte. Ces câbles 12 T 15, intérieurs au béton, sont enfilés dans des gaines métalliques et injectés au coulis de ciment. Dans toute la partie courante du tablier, du fait de la nature même de ce type de structure, et comme expliqué précédemment, ces câbles de première phase, bien que régnant de façon continue en partie supérieure et en partie inférieure de la section sur toute la longueur de l'ouvrage, ne sont pas détendus en fin de poussage. Seuls les câbles renforçant cette précontrainte dans les deux premières travées, entre C0 et P2, sont détendus en fin de poussage. Les câbles de la seconde famille sont du type 19 T 15 S, de classe 1860 MPa, extérieurs au béton, disposés à l'intérieur du caisson central et de tracé polygonal. En partie courante, cette famille comporte six câbles, filants sur toute la longueur de l'ouvrage, trois de chaque côté du caisson. Ces câbles sont ancrés dans des bossages doubles placés en milieu

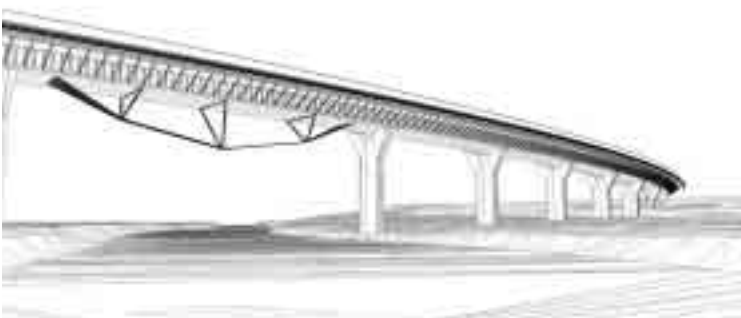
de travée. Chaque câble couvre deux travées complètes plus les deux demi travées adjacentes au milieu desquelles il est ancré. Chaque câble a donc une longueur correspondant à trois travées et en milieu de chaque travée, se trouve un bossage de recouvrement d'une paire de câbles. Ces câbles, dans les deux travées intermédiaires dans lesquelles ils passent en continu, sont déviés dans deux déviateurs placés sensiblement au quart et aux trois quarts de la travée. Sur piles, ils passent en partie supérieure de poteaux formant déviateurs. Ces câbles 19 T 15, extérieurs au béton, sont disposés dans des gaines en P.E.H.D. et injectés au coulis de ciment. Les gaines P.E.H.D. traversent les bossages et les déviateurs intermédiaires à l'intérieur de tubes métalliques cintrés, de 180 mm. De diamètre, qui forment double chemisage et permettent d'assurer ainsi leur démontabilité. Un tube laissé vide est disposé en outre dans chaque bossage et chaque déviateur permettant la mise en œuvre d'une éventuelle précontrainte additionnelle représentant 33 % de la précontrainte extérieure initiale.

4.4. La travée sur la Marne

Compte tenu de la grande portée de 93 m de la travée de franchissement de la marne, c'est à dire près du double des travées courantes, des dispositions particulières ont été prévues. Pour la construction du tablier par poussage, une palée provisoire intermédiaire est placée dans la marne, divisant par deux la portée de cette travée. En service, le tablier est renforcé par un sous-bandage formé de câbles de précontrainte fortement excentrés. Pour cela, il comporte, en plus des câbles courants de première et de seconde famille, six câbles 27 T 15 S, à tracé polygonal, excentrés par trois poinçons métalliques. Ces câbles sont ancrés dans le caisson au droit des appuis sur les piles P7 et P8 encadrant la travée sur la Marne. Ils sont excentrés sous l'intrados du tablier par trois poinçons en forme de V, constitués de tubes métalliques, cet



Figure 3 : image de synthèse de la travée sur Marne



excentrement étant de 10,00 m au droit du poinçon central, dans l'axe de la travée, et de 6,00 m au droit des deux poinçons latéraux. Pour des raisons esthétiques et architecturales, ces six câbles sont regroupés en plan dans la partie centrale entre le poinçon central et les deux poinçons latéraux, et épanouis en faisceau entre les poinçons latéraux et les piles. Par analogie avec les câbles de précontrainte extradossée, en les considérant comme intermédiaires entre des câbles extérieurs et des haubans, le dimensionnement de ces câbles de sous-bandage est effectué avec une limite égale à 65 % de la limite de rupture garantie (0,65 frg). Ces câbles 27 T 15 sont placés sous tubes métalliques peints, et injectés au coulis de ciment. Ils sont accessibles, et l'on peut les démonter et les remplacer.

4.5. La méthode de construction du tablier

La méthode de construction du tablier est le poussage. Ce dernier est préfabriqué par plots successifs de longueurs variables allant jusqu'à 29 m, sur une aire de préfabrication située derrière la culée C22, à l'est de l'ouvrage. Après la préfabrication de chaque plot, le tablier est poussé de la longueur correspondant au tronçon préfabriqué. Compte tenu de la spécificité de la section transversale, l'aire de préfabrication du tablier, d'une longueur de 150 m

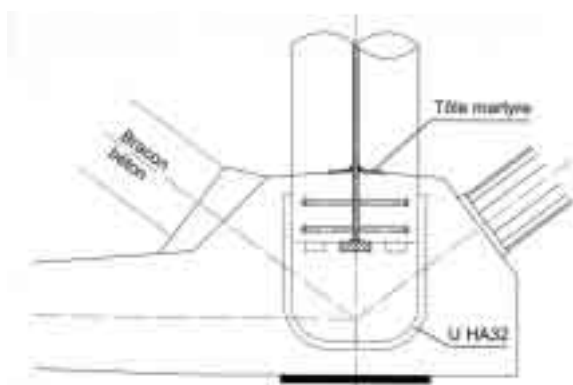


Figure 4 : principe de la connexion inférieure (coupe courante sur panneau plan)

environ, comporte quatre zones distinctes :

- Une première zone à l'arrière correspondant à l'assemblage des panneaux d'âmes métalliques (réglage, soudures, peinture, équipement, contrôles),
- Une seconde zone correspondant au coulage du hourdis inférieur avec mis en place des bracons,
- Une troisième zone correspondant au coulage du hourdis supérieur,
- Enfin une quatrième zone correspondant à la mise en précontrainte de l'ouvrage et à l'équipement du tablier.

5. Mise au point de la structure

5.1. Aménagement de la connexion inférieure

La solution initiale prévoyait de connecter l'âme planotubulaire aux hourdis supérieurs et inférieurs selon la même disposition classique, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'une semelle métallique et de connecteurs goujons verticaux. Cependant, devant la difficulté de garantir un bétonnage correct du hourdis inférieur en béton sous une semelle complètement horizontale, l'entreprise a imaginé un principe de connexion inférieure différent.

En zone inférieure, les tubes et les panneaux plans des âmes sont encastrés sur une profondeur de 30 cm dans le béton du hourdis inférieur. La connexion est assurée par des goujons soudés horizontalement sur les panneaux plans et par " effet goujons " des tubes eux-mêmes, enchâssés dans le béton.

Afin de permettre une bonne diffusion des réactions d'appui dans les âmes métalliques en cours de poussage et en service, des plats métalliques de 40 mm d'épaisseur, noyés dans le béton, sont soudés à la base des tôles.

Les tubes confèrent une rigidité de flexion transversale aux panneaux d'âme et il est alors possible d'y encastrer le hourdis inférieur. La reprise de cet effort d'encastrement est assurée



Figure 5 : connexion inférieure avant bétonnage

par des U en acier HA32 soudés le long des tubes, qui s'insèrent dans le ferrailage longitudinal du hourdis.

Enfin une tôle " martyre " est placée à la limite supérieure du hourdis en béton afin de reporter le point triple de corrosion à l'extrémité d'une pièce secondaire en l'écartant de la base de l'âme principale.

5.2. Essais de la poutre expérimentale

Un élément à l'échelle 1 de la structure a été réalisé afin de vérifier d'une part, la faisabilité des dispositions constructives adoptées et d'autre part, de valider les principes de fonctionnement de la structure.

Une poutre isostatique de hauteur 4,5 m, de 10,30 m de longueur, pour un poids de 65 tonnes, reposant sur des appuis simples par l'intermédiaire de portiques métalliques, formait le corps d'épreuve (figure 7).

La section transversale de la poutre était constituée d'un tronçon d'âme et d'une partie des hourdis supérieurs et inférieurs. Cet élément d'essai a été équipé de 90 voies de mesure reliées à différentes jauges et capteurs.

Les principaux points étudiés expérimentalement ont été :

- La répartition des contraintes normales dans la section sous efforts longitudinaux,
- Les déplacements globaux de l'élément d'essai, la déflexion transversale d'un panneau d'âme ainsi que l'ovalisation des tubes,
- La répartition des contraintes de cisaillement dans les âmes métalliques,
- La diffusion des réactions d'appuis en cours de poussage,
- La diffusion des contraintes normales et de cisaillement dans la zone de connexion inférieure.



Figure 6 : mise en place de l'élément d'essai

Cet élément a été soumis à divers cas de charges, représentatifs de ceux qui seront appliqués sur la structure réelle, composés à partir :

- D'une précontrainte longitudinale dans les hourdis (2 câbles 12T15 inférieurs et 4 câbles 12T15 supérieurs),
- D'une réaction d'appui maximale au poussage aux ELS (1200 t) appliquée successivement sous un tube puis sous un panneau à l'aide de 4 vérins.

L'ensemble de ces essais a permis de mettre en évidence une très bonne concordance entre les hypothèses théoriques de calcul et le fonctionnement réel de la structure. On peut signaler, entre autres, les résultats expérimentaux suivants :

- Une flèche de 4,5 mm sous une réaction de poussage de 1400 t,
- Une ovalisation à mi-hauteur des tubes de 0,1 mm sous effort normal longitudinal dû aux 6 câbles 12T15S (1440 tonnes),
- La répartition des contraintes normales dans les sections instrumentées conforme aux modèles théoriques de calcul (cf. Figure 8 ci-après)

En fin d'essais, la réaction de poussage a été augmentée jusqu'à 2000 t sous un panneau, soit 1,2 fois l'ELU, sans qu'aucun voilement d'âme ne se produise. Seule une fissuration locale des hourdis, normale à ce niveau de charge, a été constatée.

5.3. Hypothèses et modèles de calcul

Différents modèles aux éléments finis ont été réalisés afin d'étudier le comportement théorique de la structure. Certaines modélisations incluaient des calculs élasto-plastiques en grands déplacements afin d'évaluer les risques d'instabilités des âmes.



Figure 7 : vue générale de l'élément d'essai

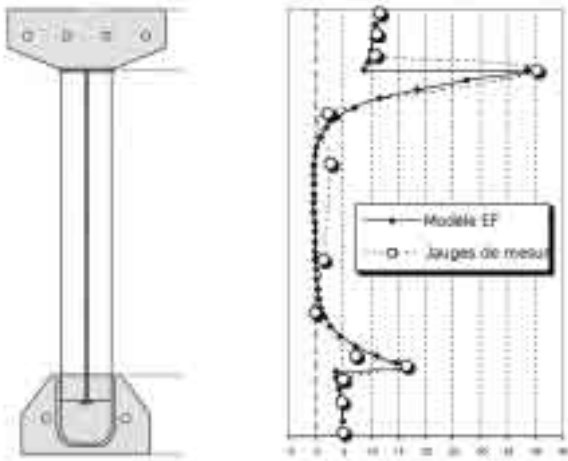


Figure 8 : exemple de diagramme de contraintes normales (en MPa) dans une section : Comparaison modèle éléments finis / mesures

Les résultats obtenus ont été confirmés par les essais. Ces modèles ont également permis de déterminer les caractéristiques mécaniques à introduire dans un modèle général de calcul constitué d'éléments de poutre 3D :

- Caractéristiques de calcul des efforts et des contraintes,
- Section réduite d'effort tranchant de la section " équivalente ",
- Influence du traînage de cisaillement dans le calcul des contraintes, du fait de la grande largeur du tablier devant les portées.

Le modèle général intégrait évidemment la souplesse des appuis et des longrines de poussage, le phasage de construction, la géométrie tridimensionnelle du câblage et les pertes de précontrainte ainsi que le fluage et le retrait des parties bétons, ce qui a permis de justifier la structure au poussage et en service.

Les actions et combinaisons prises en compte sont celles de l'eurocode 1. Les justifications de contraintes ont été menées conformément au règlement français.

Déroulement du chantier

Le marché ayant été notifié le 1er juillet 2001, après une période de préparation de six mois environ, les travaux ont démarré au début de l'année 2002. Aujourd'hui, les fondations profondes sont bien avancées, les superstructures des appuis, piles et culées sont en cours.

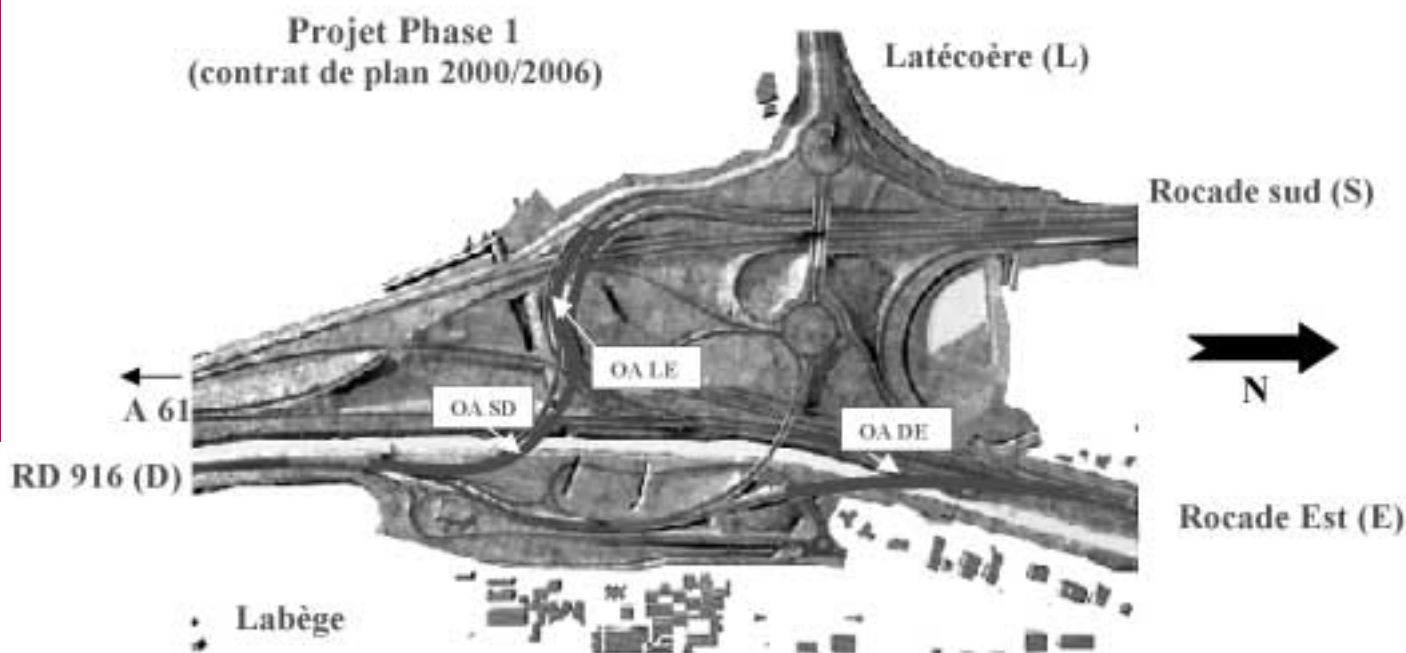
La préfabrication du tablier a démarré au mois d'octobre 2002 et le poussage effectif au mois de janvier 2003.

Le cycle prévu étant d'un tronçon par semaine, d'une longueur comprise entre 25 et 30 m, la construction du tablier est prévue pour durer quatorze mois.

Une présentation plus approfondie des résultats d'essais et une description détaillée des études d'exécution et de la construction du pont feront l'objet de prochains articles.



Figure 9 : modèle d'étude aux éléments finis de l'élément d'essai : iso-valeurs de contraintes normales verticales dans l'âme sous effort concentré de poussage



Un câblage particulier pour l'ouvrage " OALE " du futur échangeur du Palays à Toulouse

Pierre BARRAS

Présentation générale de l'opération

L'échangeur du Palays, au sud-est de Toulouse, assure les échanges entre les Rocades Est et Sud, A61 et les secteurs d'activités de part et d'autre de l'échangeur.

La croissance du trafic et la saturation constatée quotidiennement aux heures de pointe a conduit à l'étude d'un échangeur permettant la fluidification du trafic. Cet aménagement nécessite en première phase la réalisation de trois ouvrages neufs, dont l'ouvrage OALE objet du présent article (voir schéma ci-dessus). Il est à noter que les mouvements à assurer ont conduit à un point triple entre la liaison A61 rocade est, la liaison Avenue Latécoère Roclade Est (LE) et la liaison Roclade Sud RD916 (l'OALE est survolé par l'OASD).

Le maître d'ouvrage de ce projet est la DDE 31 et la maîtrise d'œuvre est assurée par le service grands travaux de la DDE. La DOA du CETE du Sud-Ouest a réalisé les études des ouvrages d'art non courants des ouvrages OALE et OASD, dont le poa a été approuvé.

La solution béton, retenue à l'issue de l'EPOA, conduit à réaliser une aire de préfabrication centrale, où sont réalisés les trois tronçons constituant l'ouvrage, deux d'entre eux étant poussés à l'ouest et à l'est par dessus les voies de la rocade,

libérant la place pour le tronçon suivant.

Ce mode de construction, peu usuel, a conduit à imaginer un câblage également peu usuel, qui est décrit dans les paragraphes qui suivent.

Description de l'ouvrage Oale

L'ouvrage de longueur totale 210 m, se situe en plan sur un cercle de 170 m. Son profil en long est parabolique sur un rayon de 5800 m.

Le profil en travers comprend une voie de 4,30 m encadrée d'une bande dérasée de 1,00 m et d'une BAU de 2,50 m, pour une largeur totale de 9,5 m.

Le problème du point triple, dont l'OALE constitue le niveau intermédiaire, conduit à privilégier les structures minces. Un pont dalle à petites travées répond à ce critère.

La structure retenue à l'issue de l'étude préliminaire est une dalle précontrainte à 8 travées dont 6 de 27,7m. L'épaisseur de la dalle (1,25 m) est adaptée au mode de construction par poussage.

Les appuis sont des voiles rayonnants fondés sur pieux forés Ø1200.

Le surplomb de la rocade Sud en travées 1 et 2 et de la liaison

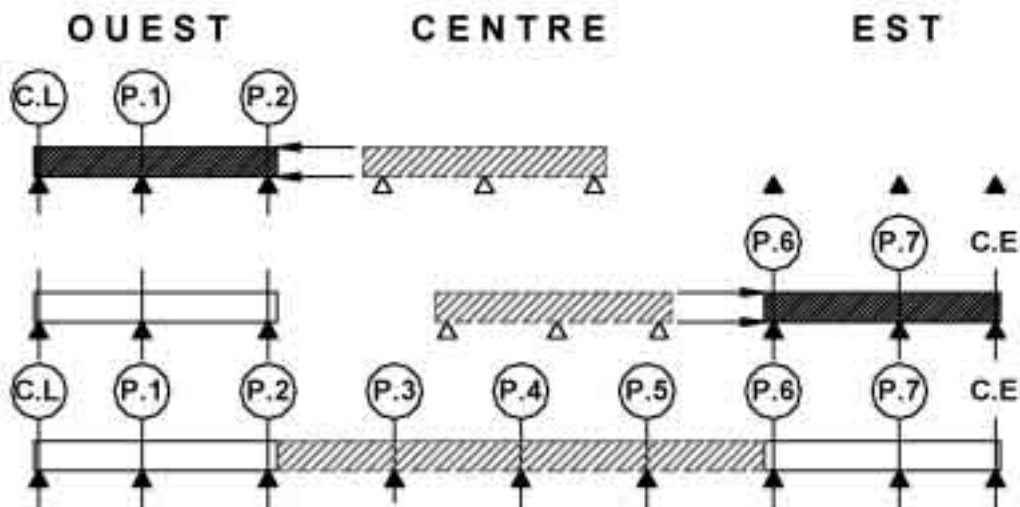


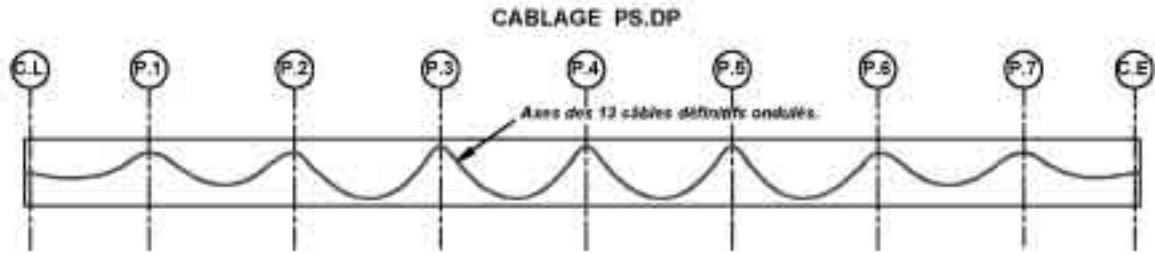
A61 rocade Est en travée 7 conduit à envisager une mise en œuvre par poussage. Malheureusement les emprises disponibles de part et d'autre de l'ouvrage sont insuffisantes du fait de la proximité de bretelles autoroutières et d'accès. La solution imaginée au projet consiste à bétonner sur cintre et à pousser depuis le centre de l'ouvrage 2 travées côté Ouest puis 2 travées côté est et de couler en place le demi ouvrage central. Le profil en long parabolique ne permet pas le poussage. Afin de le rendre possible, l'axe du tablier est placé sur un cercle passant par les points théoriques au droit des culées et

au milieu de l'ouvrage. Compte-tenu de la grande valeur du rayon du profil en long (5800 m) les différences entre l'axe théorique et l'axe retenu sont faibles.

Conception du câblage

Le câblage nécessaire en service dans l'hypothèse d'une dalle coulée en place en une seule phase comporte 13 câbles ondulés de type 19T15 (calcul PSIDP). L'étude du poussage montre qu'il faut disposer de 20 câbles lors du poussage. Ces câbles doivent avoir un tracé sensible-





ment centré pour être supporté par des sections passant successivement sur appui et en travée au cours du poussage. L'idéal serait de pouvoir mettre en œuvre 10 câbles définitifs et 10 câbles de poussage antagonistes. A l'issue du poussage, les câbles définitifs conservés seraient nécessairement couplés à leur homologue du tronçon central. Cette option est impossible par la limitation à 50 % du nombre de câbles couplés dans la même section, conformément à l'article 6.1.5 du BPEL.

Par ailleurs, afin de garantir la pérennité de l'ouvrage, tous les ancrages sont concentrés à l'about (pas de câbles relevés en fibre supérieure ou ancrés en intrados).

Ces contraintes ont conduit à concevoir un câblage plus complexe :

Phases de poussage.

La solution retenue consiste à mettre en place seulement quatre câbles définitifs ondulés qui seront ultérieurement

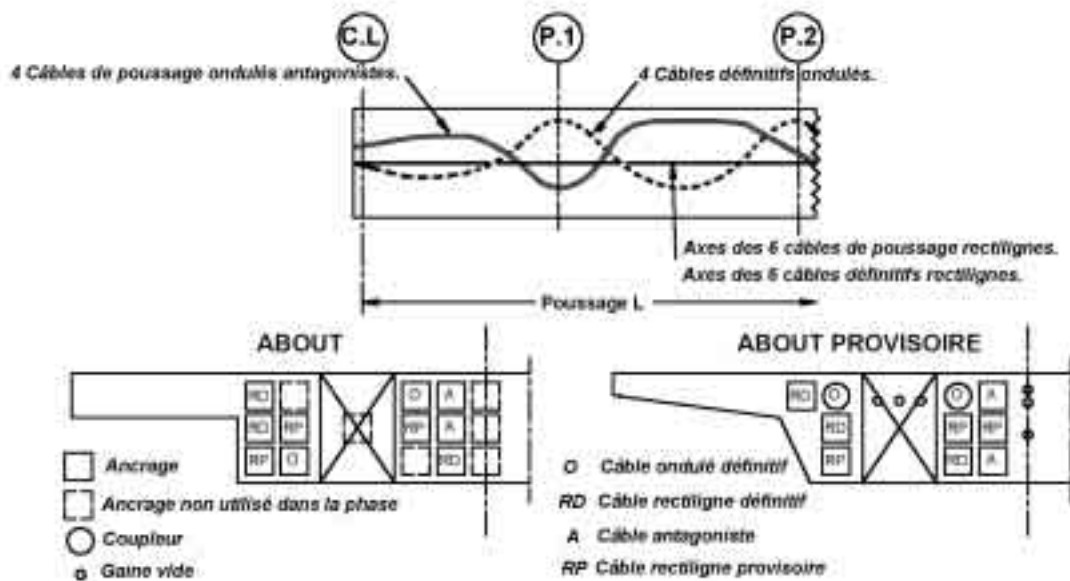
couplés, associés à 4 câbles provisoires antagonistes. Les 12 autres câbles supplémentaires, (pour aboutir au 20 câbles nécessaires) seront rectilignes et répartis en 2 groupes dont les barycentres sont voisins du centre de gravité de la section.

Bétonnage du centre.

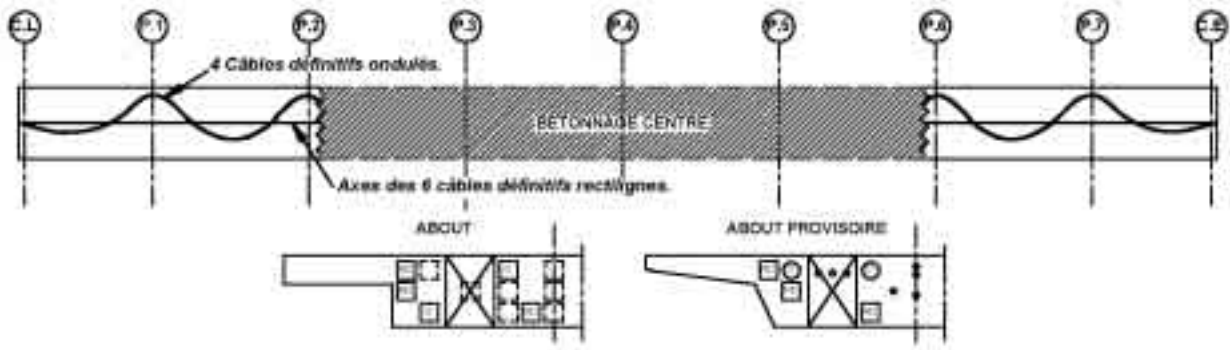
A la fin du poussage de chaque tronçon, on détend les câbles provisoires antagonistes (4 câbles) et 6 câbles rectilignes. Les tronçons comprennent alors 6 câbles rectilignes et 4 câbles ondulés. Ces câbles rectilignes de précontrainte définitive sont nécessaires pour assurer la résistance de ces parties poussées qui, une fois en place, se trouvent dans un schéma statique différent de l'ouvrage en service (appui de rive pour la 2^{ème} pile en fin de poussage et pendant le bétonnage de la partie centrale, appui intermédiaire en service).

La partie centrale est bétonnée sur le cintre, sans restriction de circulation des voies adjacentes.

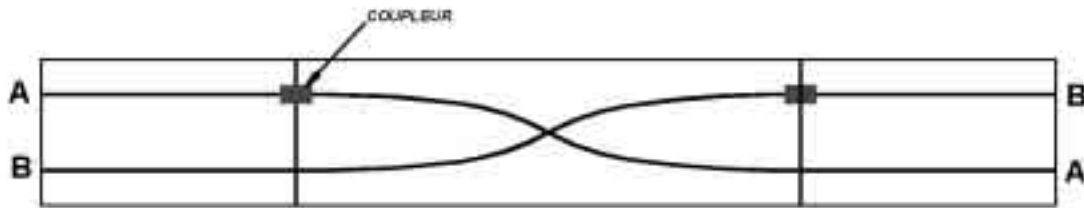
Service.



Câblage au poussage des deux tronçons d'extrémité



Câblage lors du bétonnage du centre



Des câbles supplémentaires sont mis en œuvre, pour précontraindre le tronçon central et en complément pour les parties poussées.

- quatre paires de câbles ondulés couplés

Les quatre câbles ondulés d'une partie poussée et équipés de coupleurs sont prolongés jusqu'à l'autre about. La mise en tension de ces câbles apporte 4 câbles supplémentaires dans les parties poussées et 8 câbles dans la partie coulée en place. Les coupleurs en extrémité des parties poussées se trouvant théoriquement en face à face, ce qui est impossible à réaliser, les câbles couplés se " croisent " dans la partie centrale.

- cinq câbles ondulés filants continus

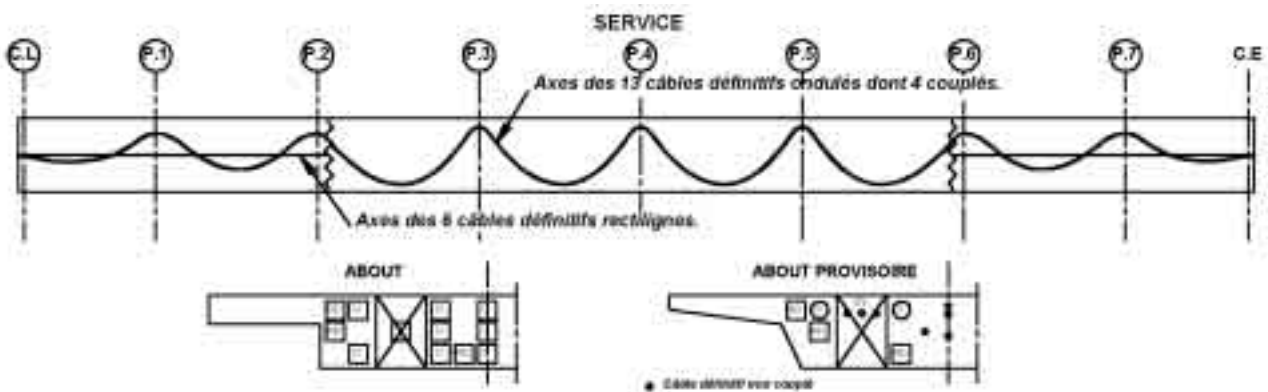
Cinq câbles définitifs et deux gaines vides filants et ondulés sont mis en tension depuis les deux extrémités de l'ouvrage.

Au final le câblage du tablier se décompose en :

- 13 câbles filants et 2 gaines vides ondulant sur la longueur du tablier,
- 6 câbles rectilignes centrés

Conclusion

Le câblage ainsi conçu conduit permettra de réaliser une dalle précontrainte réalisée en 3 tronçons avec poussages des tronçons latéraux, sans câbles relevés en fibre supérieure ou ancrés en intrados et en limitant à 4/13 la proportion de câbles couplés.



Câblage définitif

Le Setra a diffusé le logiciel LAGORA au début du mois de février 2003, dans toutes les DDE qui ont suivi les sessions de formation en CIFP.

Rappelons que LAGORA succède à EDOUART et à IQOA pour la gestion et l'entretien des ouvrages d'art du réseau national de chaque Département. Ce logiciel peut aussi être adopté par les Conseils Généraux seuls, ou en liaison avec les CDOA ; pour gérer leur parc d'ouvrages départementaux.

D'autres Maîtres d'Ouvrages peuvent aussi bénéficier de LAGORA. A titre d'exemple, la SANEF qui a servi de site pilote pour le logiciel, utilise Lagora depuis un an environ.

En ce qui concerne les DDE, 56 d'entre elles ont suivi la formation au logiciel LAGORA au 1er mars. Cette première phase de formation et de diffusion doit se terminer début avril. Les CDOA seront alors en mesure d'installer complètement l'application et pourront y transférer leurs données depuis les logiciels Edouart+ et IQOA.

Le second semestre 2003 sera consacré à la formation du réseau des subdivisions territoriales qui prendront place progressivement dans le dispositif, en accédant directement aux données en réseau.

L'objectif de l'année 2003 est donc un déploiement total de LAGORA dans les DDE, afin de permettre une remontée des données de l'opération IQOA, par ce nouveau système dès le début de l'année 2004.

Parallèlement les conseils généraux qui le souhaitent pourront s'équiper de LAGORA. Ce logiciel leur procure en effet la sécurité des données aussi bien sur le plan informatique que sur celui de la confidentialité. Il garantit également le respect de la doctrine établie depuis de nombreuses années par l'Etat en matière de politique de gestion et d'entretien des ouvrages d'art.

GILLES LACOSTE, HOAI CHAU LAM



Le programme de travail du Setra avec les CETE s'articule en 2003 autour de trois orientations.

En 2002 le Ctoa annonçait le souhait particulier de travailler avec les Divisions Ouvrages d'Art des CETE sur une démarche qualité et dans le domaine des eurocodes. Un référentiel commun pour les études d'ouvrages est maintenant bien avancé et des expérimentations ont été menées sur des ponts dans le but de s'aguerrir aux eurocodes.

Cette année, ces deux lignes d'action sont renforcées avec d'une part l'ouverture de la démarche qualité aux laboratoires régionaux pour traiter les processus de missions conjointes DOA/LR, et d'autre part avec l'appel à propositions sur une liste de thèmes de réflexion qui contribueront à rédiger les annexes nationales des eurocodes. 2003 verra aussi l'achèvement du module d'intégration de l'eurocode charges dans le logiciel ST1. Le logiciel d'étude des sections, diffusé dans une nouvelle version, facilite les vérifications aux prescriptions de l'eurocode 2.

Enfin, le Ctoa développera son savoir faire avec l'aide des CETE sur le champ des séismes, des risques incendie sur les ouvrages d'art, de la conception et du dimensionnement des ouvrages pare-pierres, et avec le concours du CETMEF il améliorera ses connaissances sur l'interaction des ponts et des cours d'eau.

Toutefois le domaine de la gestion du patrimoine d'ouvrages d'art reste le secteur privilégié du travail collectif au sein du Réseau Scientifique et Technique du ministère, mais cette activité relève par nature directement des différentes formes de commandes de la direction des routes.

HÉLÈNE ABEL

FORMATION ENPC DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES D'ART

| | |
|--|--------------------|
| Eurocodes : Les actions sur les structures d'ouvrage d'art | 12 et 13 mai 2003 |
| Ponts en maçonnerie – 2 ^{ème} partie : réparer et adapter | 20 au 22 mai 2003 |
| Fondations et travaux spéciaux : les technologies et leurs limites d'application | 20 au 22 mai 2003 |
| Technologie de reconnaissance de sols | 11 au 13 juin 2003 |

Renseignements et programmes détaillés des stages ENPC :
Renseignements concernant les cycles internationaux :

tél : 01 44 58 27 28 ou site : <http://pfe.enpc.fr>
tél : 01 44 58 28 28 ou 28 27.

COORDONNÉES des RÉDACTEURS

Alain DEMARE
DDE du Bas-Rhin
Chef du Service Grands
Travaux
aujourd'hui DGA chargé des
transports, Conseil Régional
d'Alsace

Guy TREFFOT
DDE du Bas-Rhin
chef de la Subdivision
Pont sur le Rhin
aujourd'hui Chef du Service
d'Exploitation des Routes
et Transports, DDE
du Haut-Rhin
Tel : 03 89 20 34 51

Bernard TEUTSCH
DDE du Bas-Rhin
Subdivision Pont sur le Rhin
Tel : 03 90 23 84 53

Emmanuel BOUCHON
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 80

Daniel LEFAUCHEUR
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 77

Florence PERO
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 33 25

Michel PLACIDI
Entreprise Razel
Tel : 01 69 85 68 81

Jean-Pierre COMMUM
Entreprise Razel
Tel : 01 69 85 68 87

Daniel LECOINTRE
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 73

Jérôme PETITJEAN
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 36 64

Olivier BERTHELOT
DDE de Seine-et-Marne
Tel : 01 60 56 73 12

Jean-Yves SABLON
DDE de Seine-et-Marne
Tel : 01 60 94 09 20

Pierre BARRAS
CETE Sud-Ouest
Tel : 05 56 70 64 93

Hélène ABEL-MICHEL
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 58

Gilles LACOSTE
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 92

Hoai Chau LAM
Setra – Ctoa
Tel : 01 46 11 32 42

PUBLICATIONS

■ Guide pour la conception générale du génie civil des tranchées couvertes

Réf. F0221 (152 pages) – Prix : 19 euros

Ce document est un guide méthodologique à l'intention de chefs de projets et, d'une manière plus générale à l'attention de tous les intervenants dans un avant projet de conception générale du génie civil d'une tranchée couverte routière ou autoroutière.

Il renseigne sur les données de base du projet, et notamment sur les caractéristiques fonctionnelles liées au projet routier et sur les contraintes liées à l'exploitation et à la sécurité, qui sont indispensables à la définition de la géométrie des ouvrages. Il renseigne également sur les différents types de structures qu'il est possible d'envisager et leurs conditions générales d'emploi, en fonction notamment des conditions particulières liées au site, à l'environnement, aux sols et à l'hydrogéologie.

A cet égard, une place particulière est donnée aux problèmes liés à l'eau dans le sol, qui peuvent avoir une grande importance dans la conception même des ouvrages et dans le choix des techniques de réalisation, et à la reconnaissance géotechnique et hydrogéologique, qui est assez spécifique à ces types d'ouvrages. Enfin, les projeteurs trouveront également des éléments utiles à une définition plus précise du projet, pour ce qui concerne notamment les conditions de calcul des ouvrages, l'assainissement, le drainage et l'étanchéité des ouvrages.

■ Technical guide : Cable Stays – Recommendations of French interministerial commission on Prestressing

Réf. F 0227 (198 pages) – Prix : 40 euros

■ Avis technique – Étanchéité de pont route

| Produit | Entreprise | Date | Validité | Réf. |
|-----------------|--------------------------|---------|----------|------------|
| EXCELPONT GC | AXTER | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.03 |
| DERBIGUM GC4 | PERFORMANCE ROOF SYSTEMS | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.04 |
| BARYPHALTE PONT | SMAC ACIEFROID | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.05 |
| ETANPLAST | EUROVIA | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.06 |
| ASPHALTE 8 + 22 | OFFICE DES ASPHALTES | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.07 |
| VIAPLAST | EUROVIA | 07.2002 | 07.2007 | FATET02.08 |

Rappel : le prix de chaque avis technique est de 3,05 euros.

Early in 1997, the French Interministerial Commission on Prestressing (Commission Interministérielle de la Précontrainte - CIP) set up a working group to study the technological problems involved in stay cables and to establish an approval procedure similar to that implemented for prestressing systems.

The working group drafted these Recommendations, a state-of-the-art review advising on the design, qualification, and implementation of stay-cable systems. It calls on the experience acquired with cable-stayed bridges in France and elsewhere in the last thirty years or so. This experience includes large cable-stayed bridges such as the Brotonne bridge, the Pont de Normandie bridge, the Second Severn Crossing, and the Vasco de Gamma bridge, but also involves a wide range of smaller bridges.

The cable technology described in these Recommendations principally concerns cable-stayed bridges, the cables of which are characterized by large variations in tension, fatigue effects, and direct exposure to the elements. More generally, it is hoped the recommendations will be of use for all cables exposed to climatic aggression, particularly to the ties of bowstring bridges, extradosed or intradosed prestressing tendons, and cables used in any stayed civil engineering structures, such as stadium roofs, masts, etc.

On the other hand, the applications of interconnected cable networks are beyond the scope of these Recommendations which do not, therefore, deal with cabled spaceframe structures or suspension-bridge technology. In addition, stay-cable saddles are addressed only in the form of a few recommendations on design, but using them is advised against, essentially because of maintenance and replacement difficulties.

LOGICIEL

■ Logiciel NEOP

Calcul d'appareils d'appui en caoutchouc fretté
Version 2.00. Réf. L 28 – Prix : 500 euros

La nouvelle version du programme NEOP permet de vérifier rapidement la conformité d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté, en référence au projet de norme européenne prEN 1337-3 et au guide du Setra intitulé "Appareils d'appui en caoutchouc fretté" (réf. F0032).

L'étude des appareils d'appui en caoutchouc fretté demande de nombreux calculs dont certains sont itératifs. Les vérifications à effectuer dépendent non seulement de l'appareil d'appui lui-même, mais aussi de son environnement. Il est donc indispensable de recourir à un logiciel pour vérifier la conformité à la norme.

NEOP traite l'ouvrage dans sa globalité, il calcule les efforts horizontaux de chaque appui et compare les distorsions et contraintes obtenues aux valeurs limites données par le projet de norme européenne.

Dans le cas où l'appareil d'appui n'est pas conforme, le logiciel fait des propositions de modifications que l'on peut utiliser pour une nouvelle vérification.

AUDIOVISUELS

■ Construction du nouveau Pont sur le Rhin entre Eschau et Altenheim

Cassette vidéo VHS – Durée 20 mn
Réf. F0203 - Prix : 23 euros

La construction du nouveau pont sur le Rhin au sud de Strasbourg, permettra de relier directement l'autoroute allemande A5 (Hambourg/ Francfort/ Bâle), à l'autoroute française A35 (Karlsruhe/ Strasbourg/Mulhouse).

Le pont principal, long de près d'un kilomètre, comporte trois ouvrages.

Le franchissement sur le fleuve, d'une longueur de 457 m, comprend une travée centrale de 205 m.

Il est encadré par deux viaducs, long de 215 m côté France et de 292 m côté Allemagne.

■ Dieser Film besteht in deutscher Version :

Der Bau der neuen Rheinbrücke zwischen Altenheim und Eschau

Videokassette VHS PAL – Dauer : 20 mn

Ref. F0203D – Preis : 23 euros

NOUVEAU

Ce film existe sur un support DVD en versions française et allemande :

■ Construction du nouveau pont Pierre Pflimlin sur le Rhin entre Eschau et Altenheim

DVD – Durée : 20 mn. Réf. F0203DVD – Prix : 30 euros

Dieser Film besteht auf DVD in deutscher Version :

■ Konstruktion der neuen Brücke Pierre Pflimlin auf den Rhein Zwischen Altenheim und Eschau

DVD – Dauer : 20 mn. Ref. F0203DVD – Preis : 30 euros

BON DE COMMANDE

POUR RECEVOIR LES PUBLICATIONS DU CTOA

Retournez votre commande-ou faxez la-à : Service d'Études techniques des routes et autoroutes
bureau de vente – BP 100 – 92225 Bagneux Cedex

télécopie : 01 46 11 33 55 – téléphone : 01 46 11 31 53

| | | |
|-----------------------------|---------------|------------|
| Je désire recevoir | exemplaire(s) | TITRE |
| Réf. | | |
| Prix unitaire | | Prix total |
| Nom et adresse du demandeur | | |
| Tél. | | |
| Date | | Signature |


Frais d'envoi (à ajouter au montant de la commande) : 3,50 € pour toute commande inférieure à 20 € et 4,57 € pour toute commande égale ou supérieure à 20 €

Autres pays : 10 % du montant de la commande avec un minimum de 7 €

Mode de règlement (à réception de la facture) : chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des Recettes du Setra . Virement bancaire : relevé d'identité bancaire (RIB) :

Code banque : 40071 . Code guichet : 92000 . N° de compte : 00001000261 . Clé RIB : 11 . Domiciliation : RGFIN Paris Nanterre

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : [www.setra.
equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)



Le bulletin "ouvrages d'art" est un périodique d'information à l'intention des spécialistes d'ouvrages d'art. Il est destiné à décrire la construction d'ouvrages marquants et à faire connaître des techniques particulières ou innovantes. Il est désormais consultable et téléchargeable :

- sur internet : <http://catalogue.setra.equipement.gouv.fr>
- sur i2 : <http://catalogue.setra.i2>

Document disponible au bureau de vente du Setra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **PO542** - prix : 10 euros

L'autorisation du Setra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document

Crédit photos : Second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg : DDE du Bas-Rhin
Viaduc de franchissement de la Marne à Meaux : Entreprise Razel et DDE de Seine-et-Marne

Le Setra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

