

# Ouvrages D'Art

N°2 - Août 87

## Sommaire

## Editorial

- |   |    |
|---|----|
| 1- Evolution de la construction des ponts routiers en France  | 2  |
| 2- Ouvrages à suivre<br>. Marseille : métro - auto - ruisseau   | 3  |
| 3- Techniques particulières<br>. Pérennité des ouvrages métalliques<br>. Manifeste pour les petits ouvrages mixtes<br>. Et si on lançait les ponts mixtes avec leur dalle?<br>. Un essai de précontrainte détonnante  | 4  |
| 4- Incidents et réparations<br>. Pathologie des ouvrages d'art<br>. Mise en continuité de poutres isostatiques<br>. Positionnement des gaines de précontrainte dans les sections de reprise de bétonnage  | 8  |
| 5- Equipements et entretien<br>. Protection anticorrosion des équipements de superstructure du viaduc Jules Verne<br>. Enlèvement des couches de roulement et d'étanchéité sur un pont  | 10 |
| 6- Matériaux<br>. Point sur la réglementation relative aux armatures et procédés de précontrainte   | 12 |
| 7- Tribune libre<br>. L'établissement du prix des ouvrages d'art<br>. Première expérience d'un P.A.Q.   | 13 |
| 8- Informations brèves<br>. Guide d'emploi du règlement Français de béton armé aux états limites (B.A.E.L. 83)<br>. Conditions d'emploi des appareils d'appui à pot d'élastomère<br>. Avaloirs de ponts<br>. Le nouveau fascicule 56<br>. Nouvelles notes d'information | 15 |
| 9- SETRA : les dernières publications "Ouvrages d'Art"  | 16 |
| 10- Coordonnées des rédacteurs  | 16 |

Les réactions reçues après la parution du premier numéro d'OUVRAGES D'ART ont été dans l'ensemble tout-à-fait encourageantes. Il se confirme ainsi que la parution d'informations concrètes, brèves, bien ciblées, présente un intérêt pour tous les professionnels des ouvrages d'art, du secteur privé comme de l'administration.

Les indications données dans l'article de B. MAHUT sur l'évolution de la construction des ponts routiers entre 1971 et 1985 montrent que si le nombre d'ouvrages construits a peu varié depuis 1971, la surface de tablier construite est passée de 500 000 m<sup>2</sup>/an à 325 000 m<sup>2</sup>/an. Ce sont les ouvrages moyens ou grands, de plus de 1000m<sup>2</sup>, qui ont subi une baisse importante. Le plan routier annoncé par le gouvernement devrait amener maintenant un nouveau développement de ces ouvrages.

Toutefois l'avenir ne reproduira pas le passé. Les ouvrages métalliques, qui avaient connu une longue éclipse, connaissent depuis le début des années 80 un certain renouveau, qui semble maintenant se transformer en un renouveau certain. Plusieurs articles de ce numéro concernent ces ouvrages, et leurs possibilités de développement.

L'effort de construction ne pourra pas non plus faire oublier, comme cela a été un peu trop le cas dans les années 60 et 70, les nécessités du maintien de notre patrimoine de ponts. Il y a là un champ important pour les études de pathologie et les méthodes de réparation.

Enfin la qualité technique et la qualité esthétique de nos constructions devront être des préoccupations constantes des concepteurs et des réalisateurs.

Tout ceci nécessite innovation, sérieux et échange d'idées. A vos plumes, donc, nous attendons vos articles ou vos suggestions. Une seule recommandation cependant, ne pas se lancer dans le genre littéraire "article", aller vite à l'essentiel et garder les développements importants pour les revues spécialisées.

Pierre LEMARIE



La construction des ponts en France a connu une forte évolution entre les années 1960 et 1970, avec la mise en place des programmes autoroutiers. On estime qu'à la fin de cette décennie, la cadence de construction des ouvrages d'art avait atteint mille ponts par an. Mais, à cette époque, aucun recensement de ces ouvrages n'avait été effectué.

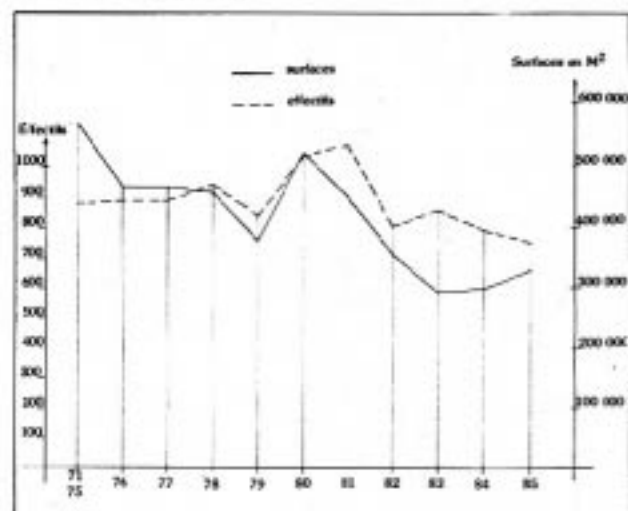
Ce n'est qu'à l'occasion du cycle d'études "les ouvrages d'art dans les D.D.E." que fut menée en 1976 une enquête portant sur les ouvrages de plus de cinq mètres d'ouverture, construits entre le 1<sup>er</sup> Janvier 1971 et le 31 Décembre 1975. Compte tenu de l'intérêt des résultats obtenus, il fut décidé de reconduire cette enquête annuellement.

Chaque année sont donc recensés auprès des Directions Départementales de l'Équipement, des DOM.TOM, des services spécialisés du Ministère, des sociétés concessionnaires d'autoroutes et enfin de la Société Nationale des Chemins de Fer Français, l'ensemble des ponts d'ouverture supérieure à cinq mètres dont ces organismes ont assuré la maîtrise d'œuvre.

Le fichier d'ouvrages ainsi constitué permet de dresser un bilan annuel de la construction des ponts en France - bilan qui fait l'objet d'une publication dans une brochure périodique du SETRA - et de dégager les principales tendances de son évolution depuis 1971 (année origine de ce fichier). Les résultats présentés par la suite ne concernent que les ponts routiers d'ouverture supérieure à cinq mètres.

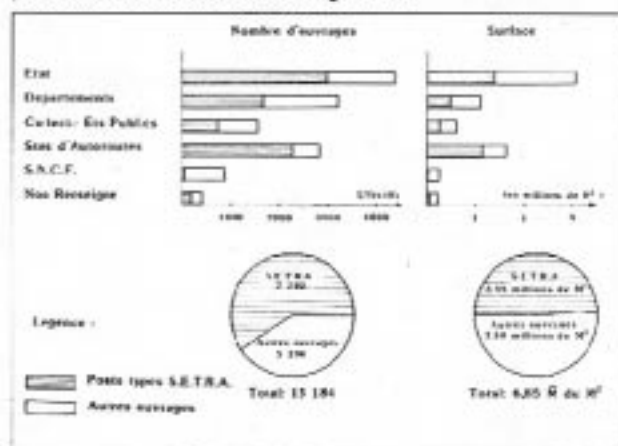
## Evolution du nombre d'ouvrages et de la superficie globale

Le nombre d'ouvrages routiers construits annuellement a peu varié depuis 1971. En revanche, la superficie correspondante a enregistré une baisse importante, passant en une décennie de 500 000 m<sup>2</sup>/an à 325 000 m<sup>2</sup>/an environ (à l'exception de la pointe de 1980). Cette variation s'est essentiellement produite au détriment des ponts de plus de 1000 m<sup>2</sup> qui représentaient, il y a quinze ans, 10 à 12% de l'ensemble des ouvrages construits et qui ne constituent plus aujourd'hui que 5 à 6% de l'effectif annuel.



## Maîtrise d'ouvrage et type d'ouvrage

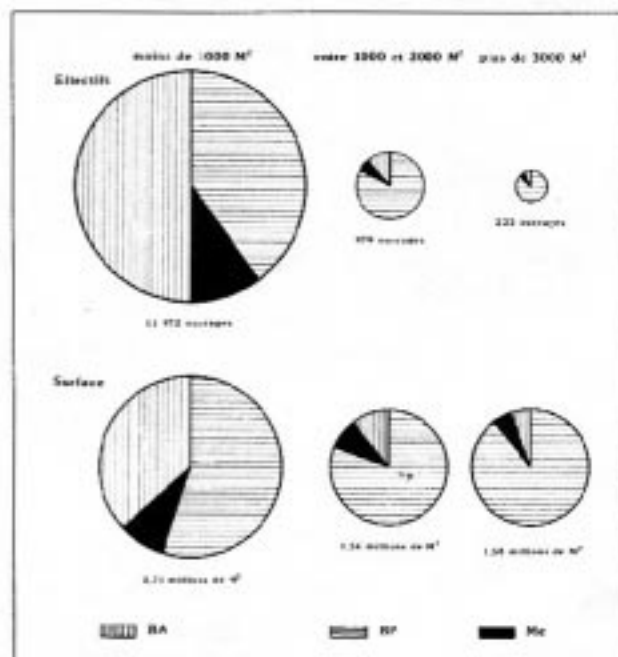
Les ponts construits sur le réseau national durant les quinze dernières années représentent un tiers de l'effectif des ponts et 45% de la surface réalisés. La proportion des ponts types SETRA qui atteint, en effectif, 68% sur le réseau national et 80% sur le réseau autoroutier concédé, représente environ 60% de l'ensemble des ouvrages routiers construits en France et près de la moitié de la surface globale.



## Classe de surface et matériaux

Dans le domaine des ouvrages de surface inférieure à 1000 m<sup>2</sup>, le béton armé occupe, en effectif, une place prépondérante : près de 50% de cet ensemble. La proportion en effectif des ouvrages métalliques, proche de 10% pour les ponts de superficie inférieure à 3000 m<sup>2</sup>, passe à 7% pour les ouvrages de surface plus élevée.

Dans le domaine des ouvrages de plus de 3000 m<sup>2</sup>, on note la place privilégiée du béton précontraint qui représente plus de 85% de l'effectif et près de 90% de la superficie.

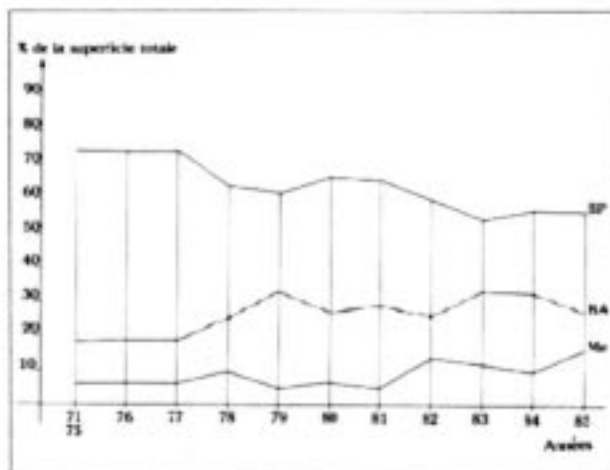




### Evolution selon le matériaux

La répartition annuelle entre les trois grands types de matériau est représentée, dans ce graphique, en pourcentage de la superficie globale construite. Depuis 1982, la proportion en superficie des ouvrages en métal dépasse 10% de la surface annuelle construite. Ce chiffre n'avait jusqu'alors jamais été atteint. Cette augmentation s'est faite essentiellement au détriment du béton précontraint qui conserve toutefois une part largement prédominante (entre 55% et 60% de la surface globale).

Brigitte MAHUT



## 2

## Ouvrages à suivre

### Marseille : métro - auto - ruisseau

La mise en service en mars 1987 du tronçon Nord de la deuxième ligne Métro de Marseille constitue une des étapes les plus importantes dans la réalisation de cette ligne qui assure maintenant un lien véritable entre les quartiers Nord et Sud de la ville ; des projets d'extension sont d'ores et déjà élaborés par la Société du Métro de Marseille à la demande de la Ville pour desservir des quartiers situés plus au nord et au sud-est.

A cette occasion, il nous paraît intéressant de rappeler brièvement la genèse du projet de ce tronçon Nord et de décrire plus particulièrement la manière dont a été conçue la partie aérienne.

Trois tracés avaient été envisagés pour sa réalisation ; pour des raisons qui tiennent à la médiocre performance sur le plan de la desserte des usagers et aux mauvaises

conditions hydrogéologiques dues à la présence des alluvions du talweg du ruisseau des Aygaldes, les tracés "Ouest" et "médiants" avaient été abandonnés.

Le tracé situé le plus à l'est qui rejoint des zones géologiques plus saines ne s'affranchit pas complètement pour des raisons d'environnement industriel, des problèmes liés à la présence des alluvions, en particulier dans la partie Nord. On a donc été conduit à retenir compte tenu des fortes épaisseurs des alluvions une solution en aérien en empruntant de façon judicieuse le tracé du ruisseau des Aygaldes.

Différents objectifs ont pu être atteints :

- améliorer l'écoulement des eaux du ruisseau dans ce secteur des Aygaldes en aval de la toute nouvelle station de dégrillage et assainir un secteur du ruisseau particulièrement nauséabond ruisseau aux crues soudaines et violentes, qui collecte les eaux d'un large bassin pluvial au nord de Marseille avant le rejet dans le



- bassin du Port Autonome ;
- aménager une partie de la couverture du ruisseau en chaussée routière ce qui permet de désenclaver des zones mal desservies auparavant ;
- permettre, sur cette couverture et ses abords, la création d'une gare d'échange et d'un parking d'échange liés à la station Terminus.

L'ouvrage qui a été réalisé se compose d'un cadre en béton armé de 8,80 m d'ouverture fondé sur des pieux en béton forés tubés qui constituent les fondations communes du cuvelage et du viaduc. La dalle de couverture du cadre supporte une chaussée routière. Les piles du viaduc situées à l'aplomb des piédroits ont été coulées dans des coques préfabriquées servant de coffrage et de revêtement définitif en béton cannelé architectural. La dalle du tablier précontraint du viaduc a une épaisseur de 0,60 m.

Le succès remporté après la mise en service de ce tronçon confirme pleinement les choix qui ont été faits en associant de façon harmonieuse trois fonctions transport en commun (métro), voie routière de désenclavement et canalisation du ruisseau.

Les principaux auteurs de ce projet :

**Maître d'Ouvrage** : Ville de Marseille

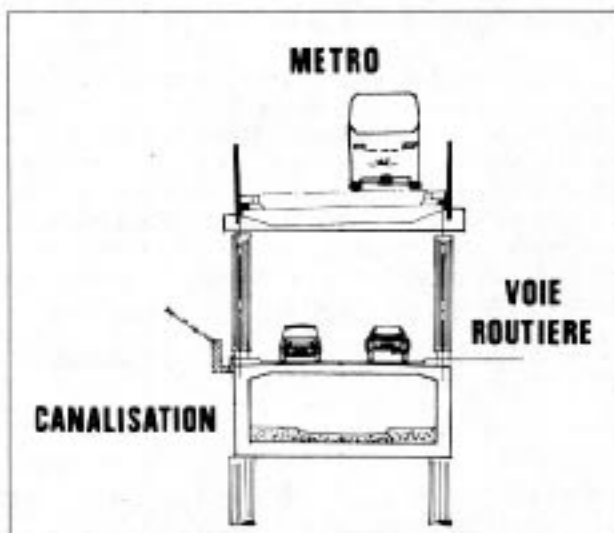
**Maître d'Ouvrage Délégué** : Société du Métro de Marseille

**Maître d'Ouvre** (section en viaduc) : Direction Départementale de l'Équipement des Bouches du Rhône

**Entreprise Générale** : BOUYGUES MISTRAL TRAVAUX

**Principaux sous-traitants** : SOLETANCHE - ETPO - INTERTRAVAUX - MARION - TPVH -

Christian OSTORERO



### 3

## Techniques particulières

### Pérennité des Ouvrages Métalliques

Sur décision du Directeur des Routes fut créé un Comité des ponts métalliques pour étudier les forces et les faiblesses des ponts métalliques. Le but étant de s'assurer d'une équitable compétition entre le béton précontraint et l'acier.

Messieurs les Ingénieurs Généraux BATSCH, puis PRUNIER en ont assuré la présidence.

Un excellent travail de fond y a été fourni. Je pense que, prochainement, cette revue devra ouvrir ses colonnes à un résumé de ces travaux.

Des groupes de travail ont été constitués, dont l'un sous la présidence de Monsieur DJTEMS, Ingénieur en chef à la R.A.T.P., s'est intéressé à la pérennité des ouvrages métalliques. La pérennité signifiant en premier la faculté de répondre aux sollicitations prévues au cahier des charges ou à des données modifiées au cours du temps, en particulier au point de vue implantation des appuis, charges, etc.

En second lieu, le groupe de travail s'est intéressé au problème de la corrosion. Il a tout d'abord constaté que, dans le cas d'ouvrages métalliques, la corrosion est externe et peut donc toujours être réparée. Il a noté que les formes modernes, abandonnant les treillis rivés pour adopter des contours continus, souvent soudés, ont considérablement diminué les risques de corrosion.

Il a noté que pour un ouvrage métallique, la durée de vie pouvait être garantie pour une longue période -un siècle par exemple- moyennant un entretien dont le coût peut être connu et programmé. Il est évident que d'autres matériaux ne peuvent prétendre à la même possibilité.

Les idées reçues concernant la durée de vie d'une protection anti-corrosion d'un ouvrage métallique étant très vagues, il a paru nécessaire de se livrer à une étude statistique sérieuse.

Le groupe de travail a donc établi une feuille de renseignements complète et l'a adressée aux maîtres d'œuvre ou d'ouvrages : D.D.E., R.A.T.P., S.E.T.R.A., ports autonomes, services de la navigation. 46 fiches ont été reçues en retour, dont 33 exploitables complètement. Les réponses ont de quoi surprendre

concernant la durée. En effet, les temps écoulés entre 2 remises en peinture de la totalité de la surface ont été les suivantes :

- ponts-routes : de 18 à 37 ans. Temps moyen 23 ans
- ponts-rails : de 10 à 42 ans. Temps moyen 21 ans

Les durées maximales enregistrées sont à l'évidence trop longues et correspondent à une insuffisance d'entretien, par contre un recours plus systématique à des reprises partielles pourrait augmenter les durées les plus courtes. On peut noter qu'un revêtement, garanti dans les marchés 7 ans, a une durée de vie probable moyenne supérieure à 15 ans. Voilà qui est loin des idées reçues évoquées précédemment.

Le groupe de travail s'est préoccupé des éléments favorables à la protection qui intéressent :

- la conception générale et de détail,
- la métallurgie des aciers de construction,
- les types d'assemblage en usine,
- les types d'assemblage sur chantier,
- les appareils d'appui métalliques ou à base polymère,
- l'étanchéité de la dalle,
- les accessoires (gargouilles, évacuations),
- la protection anti-corrosion par elle-même :
  - . préparation de la surface, prégranillage,
  - . évolution des produits de revêtement,
  - . conditions d'application et de contrôle,
- environnement atmosphérique.

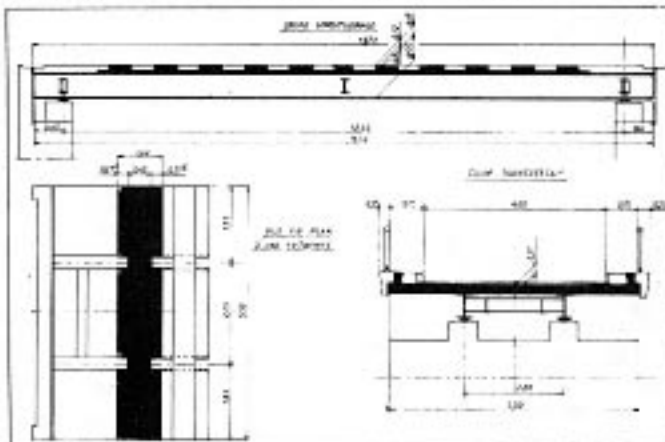
Le groupe de travail poursuit ses études sur ces différents points et va, de plus, étudier les qualités de modifiabilité des structures acier.

Il a fait œuvre utile, en répondant aux critiques mal fondées dont les structures métalliques étaient l'objet par une étude objective de ce problème important.

Jean RORET

## Manifeste pour les petits ouvrages mixtes

Dans l'avant-propos du guide de conception des ponts mixtes publié par le SETRA en Octobre 85 on trouve: "le domaine des portées des bi-poutres mixtes se situe entre 30 et 110 m". Je voudrais par ces quelques lignes essayer de vous prouver que la borne inférieure de cette fourchette est bien plus basse que 30 m. En effet, nous venons de réaliser dans l'Yonne deux ouvrages mixtes de 21,50 m et de 12,40 m de portée. Ils se sont à chaque fois économiquement imposés face aux solutions traditionnelles en béton armé ou poutrelles enrobées.

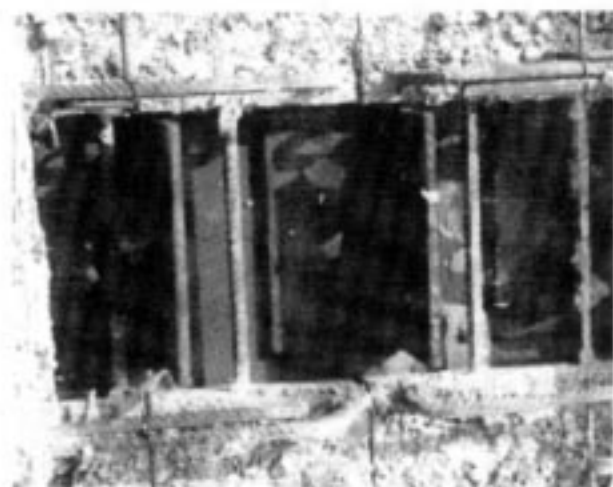


Ces deux ouvrages étant de conception identique, je me bornerai à la description détaillée du plus petit qui était également le premier. Il s'agit d'un ouvrage communal ce qui implique le profil en travers exigü : une chaussée de 4 m et deux trottoirs de 0,75m. L'ossature métallique, d'une extrême simplicité comprend deux poutres de 0,55m de hauteur et 2,20 m d'entraxe, reliées entre elles par trois entretoises dont deux sur appuis, raidies pour assurer la possibilité de vérinage. Compte tenu de ses modestes dimensions, elle a été entièrement assemblée en atelier et livrée d'une pièce sur le chantier. Ceci évite toute soudure sur le site. Le hourdis est une dalle en béton armé de 17 cm d'épaisseur, préfabriquée en douze éléments dont chacun d'entre eux comprend deux feuillures et quatre lumières pour assurer le clavage transversal et la connexion. Les dalles sont posées sur bain de mortier de résine et la semelle supérieure des poutres comporte des retours de système complet de peinture sur 5 à 8 cm. La pose du tablier s'est effectuée en une matinée, ossature et dalles à l'aide de la même grue de 30 tonnes qui est un engin très courant. La densité des connecteurs sur appuis impose cependant le coulage sur coffrage traditionnel de 1,50 m de tablier à chaque extrémité, mais au-dessus de la culée ce coffrage est très facile. Les compléments de ferrailage et le coulage prennent ensuite deux à trois jours, la pose des divers équipements (corniches, garde-corps, étanchéité, couche de roulement) assure, ensuite, la compression des joints entre dalles. Le second ouvrage, plus long mais de même section a été réalisé selon le même principe. Le lancement s'est effectué à l'aide de deux grues.

Une amélioration du procédé consistait en la réalisation des éléments préfabriqués en 2 m de largeur, d'où une économie de ferrailage, qui est assez dense dans les zones de clavage compte tenu des règles de couture du BAEL, et moins de manutention. Là, encore une demi journée s'est révélée suffisante pour la pose du tablier. D'autres évolutions sont déjà au point pour notre prochaine réalisation afin de simplifier encore le

procédé et d'être plus encore économique : utilisation de profilés du commerce et préfabrication complète de la dalle y compris aux extrémités en jouant sur la répartition des connecteurs. Ce nouveau projet comprend un profil en travers plus classique avec une dalle de 10 m environ, l'entraxe des poutres sera donc de l'ordre de 5 m et deux solutions restent alors possibles pour l'amenée de l'ossature sur le site : en une seule pièce mais en convoi exceptionnel ou en deux morceaux avec assemblage des entretoises sur le site par boulons HR.

En conclusion, les principaux attraits de cette technique peuvent se résumer ainsi :



### les avantages classiques des ouvrages mixtes :

- légèreté du tablier, d'où économie de fondation et possibilité plus grande de réutilisation de fondations existantes
- aucun cintre, gros avantage pour les petits ouvrages quasiment tous hydrauliques
- simplicité de la conception donc simplicité de l'entretien

### auxquels s'ajoutent :

- utilisation maximale de la préfabrication d'où un meilleur contrôle de la qualité
- utilisation de profilés du commerce généralement plus économiques que de reconstitués
- pas de coffrage
- et conséquence des points ci-dessus : rapidité d'exécution d'où économie pour une collectivité en limitant les perturbations de la circulation.

A titre indicatif, ces deux chantiers se sont soldés par des coûts de tablier (hors équipements) inférieurs à 3 300F/ m<sup>2</sup> H.T.

Didier BRAZILLIER



## **Et si on lançait les ponts mixtes avec leur dalle ?**

Le retour en force des structures mixtes dans le domaine des ouvrages d'art depuis quelques années a amené le rapprochement des "spécialistes" du béton et du métal, tant dans l'administration que dans les entreprises. Après les progrès spécifiques à la construction métallique, notamment sur le soudage et la protection anti-corrosion, vient le temps d'améliorer la "mixité" des ouvrages au niveau du chantier. Le principal hiatus à ce niveau réside dans la cinématique de construction d'un pont mixte où classiquement on lance la structure métallique avant de réaliser la dalle de couverture.

### **Les inconvénients du coulage de la dalle après le lancement de l'ossature**

Le coffrage et le coulage de la dalle d'un pont mixte après mise en place de l'ossature posent des problèmes de trois ordres :

- le maintien de la circulation sur la voie franchie (autoroute ou voie ferrée) rend l'opération difficile voire impossible compte tenu des dispositifs de sécurité à mettre en oeuvre.
- le coffrage est onéreux; qu'il s'agisse d'un coffrage traditionnel ou d'un outil coffrant spécifique les passages de coulage, inévitables à partir d'une certaine longueur d'ouvrage, nécessitent de déplacer le coffrage, ce qui représente une opération relativement longue dans le cas d'un coffrage traditionnel, ou bien impose un outil particulièrement sophistiqué.
- le béton ne participe pas à la reprise du poids propre de l'ouvrage; dans les zones de moments positifs, les membrures supérieures sont essentiellement dimensionnées par cette opération.

### **Tentatives d'amélioration**

Pour résoudre les deux premiers points les entreprises de construction métallique et leurs sous (ou co) traitants ont déjà mis en oeuvre plusieurs solutions rassemblées ci-dessous en trois familles.

- utilisation de dalles préfabriquées ou de prédalles.
- utilisation de coffrage perdu en métal pouvant éventuellement être lancé avec l'ossature métallique.
- le poussage de la dalle sur l'ossature en place.

Cependant ces solutions ne règlent pas tout à fait les problèmes évoqués plus haut. Pour les dalles préfabriquées, la présence des joints transversaux nécessite la réalisation de béton en place, de plus leur utilisation est limitée par la largeur du tablier. Enfin l'étanchéité de l'interface dalle poutre est à mon avis imparfaitement résolue. Le coffrage perdu s'adapte difficilement à la réalisation des encorbellements. La dalle poussée est une technique mal connue en France.

Enfin, point commun à ces trois solutions, elles ne permettent pas à l'ouvrage de fonctionner en mixte sous son poids propre.

### **Avantages à attendre du lancement avec la dalle**

Pour tenter de résoudre simultanément les questions soulevées plus haut, on peut imaginer de lancer l'ouvrage avec sa dalle déjà coulée, ce qui est sûrement possible si on considère les poids respectifs d'un pont mixte et d'un pont poussé en béton.

- le béton participe dès le début de la vie de l'ouvrage, ce qui peut donc permettre une économie sensible d'acier sous certaines conditions;
- le coût du coffrage réalisé au sol devrait être moindre que celui d'un coffrage en place ou d'un outil coffrant;
- enfin cela résoud les problèmes d'exploitation de la

voie franchie comme l'a démontré à Cannes la réalisation des ouvrages mixtes sur l'autoroute A8.

### **Les problèmes à résoudre.**

Evidemment ceci ne peut pas aller sans de nouvelles difficultés liées au poids de la structure lancée.

### **Importance des moments négatifs de porte à faux**

Ces moments sont évidemment plus importants que dans le cas du lancement de l'ossature seule. Pour résoudre ce point l'arsenal habituel des ponts poussés en béton est directement applicable, à savoir avant bec et palées provisoires pour réduire le porte à faux, ou haubannage provisoire pour maintenir les moments dans des valeurs raisonnables. Mais la légèreté relative d'une structure mixte peut également permettre de nouvelles solutions. Dans le cas de travées isostatiques, l'utilisation d'une palée mobile et de boogies placés aux extrémités permet de lancer l'ouvrage dans son schéma statique définitif. Cette solution a été proposée par la D.D.E. de Haute Garonne et le S.E.T.R.A. pour l'échangeur de Purpan sur la voie de dégagement Ouest de Toulouse.

### **Voilement des âmes au dessus des appuis de lancement**

Les réactions d'appui au lancement sont telles qu'il n'est plus possible de rouler sous les membrures inférieures sans risque de voilement de l'âme. Dans le cas de la travée isostatique évoqué ci-dessus, une palée mobile résoud évidemment le problème puisque l'on peut utiliser les montants d'appui définitifs pour appuyer la structure sur la palée et les boogies.

### **Solutions envisageables pour les travées continues**

En dehors du cas favorable de la travée isostatique on peut imaginer deux solutions.

#### **Glissement de la membrure inférieure sur patins solidaires du tablier**

Campenon Bernard dans sa variante sur l'échangeur de Cannes a utilisé des patins de néoprène-téflon glissant sur des longrines. Ces patins sont placés sous les poutres au droit de montants verticaux dont l'espacement est choisi en fonction de la longueur des longrines pour qu'il y en ait toujours un sur la longrine.

#### **Glissement de la membrure supérieure sur patins liés aux appuis**

On éviterait ainsi l'introduction de réactions concentrées sur les âmes. Cette solution est celle que nous avons retenue sur deux projets au S.E.T.R.A., pour lesquels un calcul aux éléments finis a été effectué par le L.C.P.C. qui semble montrer que la diffusion des réactions d'appui est suffisante pour n'introduire que des contraintes relativement faibles dans la dalle.

A l'heure actuelle quatre réalisations ou projets sont en cours qui utilisent ce principe. Citons les sans les développer :

- l'échangeur de Cannes Antibes sur l'autoroute A8 où l'entreprise Campenon Bernard et les Forges de Strasbourg réalisent trois ouvrages mixtes sous le contrôle de Scetauroute.
- l'échangeur de Purpan dans le cadre de la voie de dégagement ouest de Toulouse où la D.D.E. a proposé à l'appel d'offre la réalisation de deux ouvrages isostatiques.
- le franchissement de la Meurthe à Nancy dans le cadre de la liaison A330 CD 2bis RN74, qui a fait l'objet d'un projet S.E.T.R.A. où l'ouvrage qui mesure 200 mètres est lancé avec la dalle.

- le remplacement du pont du Guétin sur l'Allier qui est également un projet S.E.T.R.A., l'ouvrage ayant une longueur de 406 mètres.

En ce qui concerne ces deux derniers projets notons que l'économie sur les membrures supérieures dans les zones de moments négatifs ne se fait qu'à partir de la troisième travée, les deux premières étant fortement sollicitées au lancement. On peut en conclure que, de ce point de vue, cette solution est surtout intéressante

pour les ouvrages comportant un nombre de travées important avec des portées n'excédant pas 50 mètres.

En conclusion, il s'agit d'une idée "dans l'air" qui a déjà fait l'objet d'une application. Les appels d'offres à venir sur les projets évoqués plus haut devraient permettre de faire le point sur l'intérêt réel que présente le lancement de l'ouvrage terminé.

Robert DUBOIS

### **Un essai de précontrainte détensionnable. "Viaduc Jules VERNE"**

La précontrainte extérieure : Cette technique permet un accès facile aux câbles, et déjà l'intérêt de pouvoir les démonter était apparu aux yeux des Maîtres d'Oeuvre : ainsi ont été mis au point les systèmes à double tubage, permettant de dégager la gaine avec le câble injecté des zones de passage dans le béton ; ou comme sur le Viaduc du Métro de Lille, l'injection des zones d'ancrage à la cire pétrolière ELF. Mais ces aménagements impliquent quand même que le câble doit être découpé pour être retiré.

Sur le Viaduc JULES VERNE, la variante CAMPENON-BERNARD comprenait une précontrainte entièrement extérieure ; au cours de la mise au point du marché, l'utilisation de câbles provisoires opposés aux câbles définitifs, s'était avérée nécessaire pour rendre la précontrainte centrée pendant toute la phase de poussage. De ce fait, l'entreprise était confrontée au problème de démonter une quarantaine de câbles de 100 m en fin de poussage ; FREYSSINET INTERNATIONAL parvenait rapidement à mettre au point ce système. Il comprend :

- des clavettes spéciales, comprenant une gorge en partie arrière, recevant une rondelle d'appui ;
- une plaque permettant de retenir toutes les clavettes en position sortie ;
- trois ergots latéraux pour maintenir la plaque en position arrière.

Ce système a été également adopté pour les ancrages de tous les câbles définitifs. Pour bénéficier au mieux du procédé, il fallait choisir un procédé d'injection souple : nous avons choisi la cire pétrolière ELF. Enfin, il était nécessaire de laisser une surlongueur de câble derrière l'ancrage pour permettre la prise du vérin, augmentée de l'allongement élastique du câble, soit jusqu'à 1,40 m au total. Cette surlongueur est protégée par un capot en polyéthylène lui-même injecté à la cire, le système de précontrainte est ainsi totalement détensionnable et retendable.

Le coût supplémentaire de cette amélioration représente 550 000 F.H.T., soit 11,6% du montant de la précontrainte et 1% du coût de l'ouvrage.

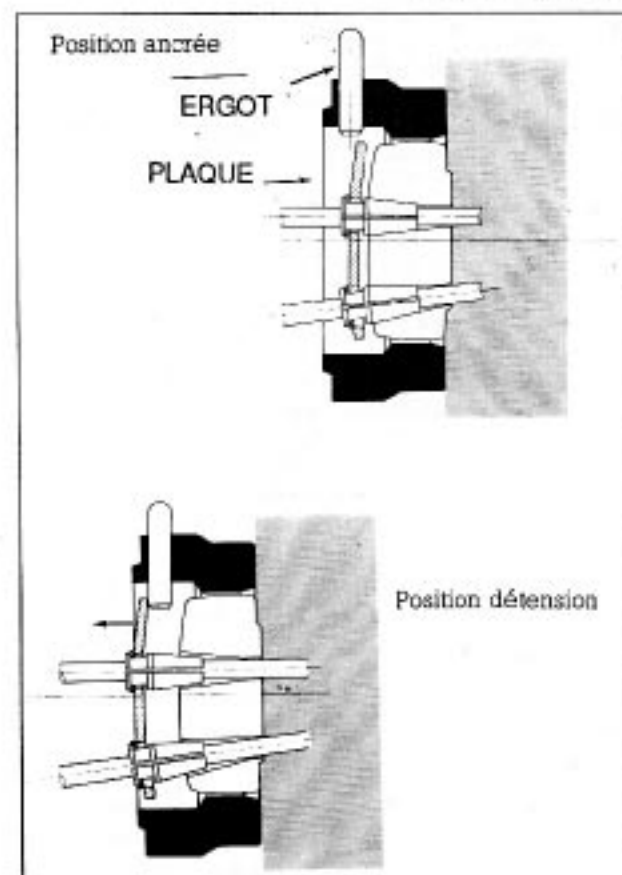
Particularité de l'injection à la cire : Le produit est amené sur chantier dans une citerne munie d'un système de réchauffage ; la température d'injection doit rester comprise entre 70° et 90° C pour assurer la bonne fluidité du produit. La précontrainte extérieure simplifie considérablement les opérations d'injection : les gaines de protection, en PHD dans notre cas, sont raboutées par thermosoudage et installées à leur emplacement définitif ; les évents et conduits d'injection sont positionnés après enfilage du câble, en réalisant une perforation du tube et en y branchant un raccord de robinetterie. La cire est injectée sous pression de 4 à 6 bars ; l'étanchéité des gaines doit être parfaite. Sur notre chantier, les raccords thermosoudés entre gaines n'ont

donné lieu qu'exceptionnellement à des fuites ; le raccord entre la gaine PHD et la gaine métallique dans le VSP était réalisé par un bourrage de Rubson, et s'est révélé efficace. Les problèmes sont surtout apparus au niveau des capots d'injection : à cause de leur porte à faux important, ils avaient tendance à se décoller de la plaque d'appui au cours de leur remplissage et à provoquer des fuites spectaculaires. Le front d'avancement de la cire est repérable sur les gaines (avec le dégagement de chaleur et le changement de couleur du PHD), ce qui permet de localiser les éventuels bouchons. Ceux-ci sont repris en pratiquant une nouvelle ouverture pour y brancher le tuyau d'injection, et l'opération peut continuer.

#### **Conclusion**

Le Viaduc JULES VERNE est le premier ouvrage doté d'un système de précontrainte entièrement détensionnable ; quel est l'intérêt de ce système ? en premier lieu, les câbles provisoires sont récupérables, à condition de purger les zones d'ancrage et de diminuer la tension. Pour l'entretien de l'ouvrage, la possibilité de détendre pour remplacement ou de retendre, présente également un gros intérêt ; mais celui-ci serait accru si l'on pouvait mesurer simplement la tension résiduelle du câble en service. L'avenir nous dira si cette technique mérite d'être développée.

Laurent CARRERE



### Pathologie des Ouvrages d'Art

Je voudrais profiter de la place qui m'est laissée dans ce bulletin d'informations pour vous présenter l'un des enseignements que j'ai pu tirer de la pathologie des ouvrages d'art : un ouvrage ignore les règlements ! Il existe en effet des ouvrages "non réglementaires" en excellente santé, de même qu'il existe des ouvrages "réglementaires" malades... c'est une question de bonne conception.

Dans la majorité des cas pathologiques débouchant sur des réparations, les calculs menés suivant les règlements en vigueur ne permettent pas, seuls, de résoudre au mieux les problèmes traités. Ainsi, lorsqu'une structure ou une partie de structure présente des symptômes pathologiques, et surtout si on envisage une réparation, il convient d'adopter une démarche qui vise à appréhender l'état réel de la structure, son fonctionnement mécanique actuel, ainsi que son évolution prévisible.

Pour ce faire, le réseau des LPC dispose d'une vaste panoplie de moyens allant de l'instrumentation des

ouvrages au programme de calculs par éléments finis, en passant par le microscope électronique à balayage ou le SCORPION...

Si l'étude de cas pathologiques relativement compliqués fait souvent appel à des méthodes d'investigations sophistiquées, il existe aussi des moyens peu onéreux pour résoudre les cas plus simples.

Le coût d'une investigation peut sembler cher lorsque l'on croit qu'on peut appréhender directement le fonctionnement d'un ouvrage. Cependant, si on le compare aux réparations inutiles voire nuisibles, que son absence peut entraîner, et à la nécessité ultérieure de reprendre celles-ci, on conçoit aisément qu'il est finalement moins coûteux de procéder dès le début aux investigations nécessaires. Notons enfin que dans le domaine de la pathologie des ouvrages d'art, les activités des laboratoires et des bureaux d'études sont complémentaires, et que le bureau d'étude et le laboratoire doivent former un tandem afin de fournir le meilleur diagnostic et aboutir à une réparation efficace et durable.

Bruno GODART

### Mise en Continuité de Poutres isostatiques.

#### Le Problème

L'accès au pont d'Aquitaine, sur la Garonne à Bordeaux, se fait par un viaduc de 817m. de longueur, constitué de 21 travées isostatiques d'environ 40m de portée. L'ouvrage présente une pente longitudinale de 5 % et s'élève à plus de 54 m au dessus du sol naturel. Chaque travée est constituée de six poutres préfabriquées en béton précontraint, solidarisées entre elles par une dalle supérieure en béton elle-même précontrainte transversalement.

Cet ouvrage d'accès - ainsi que l'ouvrage principal - ont été réalisés dans les années 60 et une inspection détaillée menée il y a quelques années a montré que les appareils d'appui en élastomère fretté, mis en place lors de la construction sous les abouts des poutres préfabriquées, étaient détériorés : déformations excessives, tôles de fretage tordues, etc. De même, les joints de chaussée, situés au niveau de la couche de roulement, étaient en très mauvais état et ne fonctionnaient plus de façon satisfaisante. En particulier des défauts au niveau du système d'étanchéité permettaient à l'eau de ruissellement de pénétrer jusqu'aux appareils d'appui, accélérant ainsi le processus de dégradation de ces derniers.

#### La solution : l'attelage de travées

Après que des études approfondies aient été menées par le Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement du Sud Ouest (CETE de Bordeaux), qui a joué le rôle de bureau d'études, d'expérimentations et de contrôles pour le compte de la Direction Départementale de la Gironde, Maître d'Oeuvre de l'opération, le groupement

d'Entreprises G.T.M. - FREYSSINET s'est vu attribuer après appel d'offres le marché de remise en état des équipements de l'ouvrage.

#### Les travaux comprenaient :

- le remplacement de 240 appareils d'appui par vérinage en tête de pile,
- la mise en continuité des travées de l'ouvrage réunies en 4 groupes de 5 ou 6 travées, ce qui permettait de ne conserver que 5 lignes de joints de chaussée sur les 22 prévues à l'origine.

#### Les contraintes d'exécution

Le mode d'exécution des travaux devait permettre de satisfaire à quatre exigences :

- aucune restriction de circulation sur l'ouvrage, totale ou même partielle, n'était admise,
- les ouvrages devaient être dans une position moyenne, ce qui exigeait que la température du béton soit comprise entre 5°C et 15°C,
- aucune disposition particulière pour le vérinage des tabliers n'avait été prévue lors de la construction,
- la dénivellation entre deux appuis voisins ne devait pas dépasser un millimètre pendant toutes les opérations de vérinage.

#### Les travaux

Le remplacement des appareils d'appui par vérinage. Trois méthodes ont été employées en fonction de l'emplacement disponible en tête de pile :

- soit classiquement un vérinage à l'aide de vérins hydrauliques prenant appui directement sur la pile. Chaque vérin était muni d'un écrou de sécurité et d'une rotule ainsi que d'un dispositif de glissement horizontal



permettant d'éviter d'introduire dans la structure des efforts parasites trop importants.

- soit un vérinage à l'aide de vérins à coins de conception spéciale, prenant appui sur des carcans métalliques temporaires bridés deux à deux en tête de pile.
- soit un vérinage à l'aide de vérins hydrauliques reposant sur des consoles métalliques provisoires clouées deux à deux aux piles à l'aide de barres H.R. traversantes.

Dans les trois cas, les vérins hydrauliques étaient alimentés par une centrale de levage LIFTPACK. Cette centrale permet d'assurer le levage synchronisé de 6 groupes de vérins qui peuvent être inégalement chargés, tout en contrôlant déplacements et pressions à partir d'un pupitre central de commande. L'attelage de deux travées voisines a été réalisé en utilisant huit "tirant/buton", constitué chacun d'une barre H.R. de 26 mm de diamètre, traversant les entretoises d'about, et ancrée sur la face externe de celles-ci. Entre les entretoises, la barre est placée à l'intérieur d'un tube métallique épais formant buton, articulé à ses extrémités et appuyé sur le béton. L'effort initial dans chaque barre est de 240 tonnes par attelage, valeur bien supérieure à la valeur estimée par le calcul qui prend en compte les variations thermiques et les efforts de freinage des véhicules.

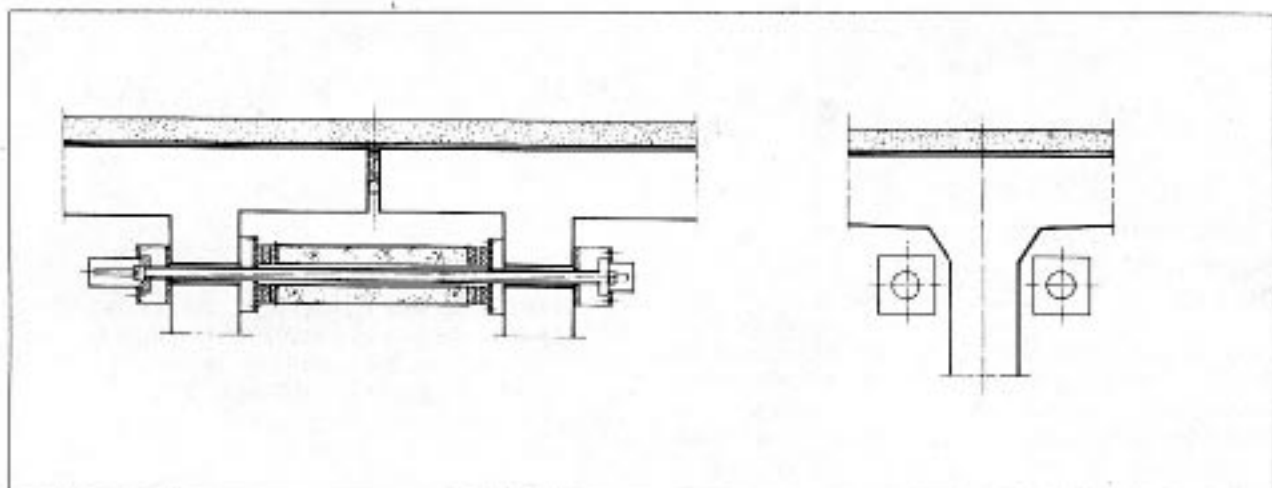
### Les avantages

Cette méthode d'attelage des travées qui est applicable à tous les ponts à poutres à travées multiples isostatiques, offre de nombreux avantages :

- pendant les travaux :
  - la mise en oeuvre n'implique aucune restriction de circulation,
  - aucune démolition de chaussée ou de hourdis supérieur n'est nécessaire.
- après les travaux :
  - l'accès aux ouvrages est permanent permettant ainsi une surveillance constante,
  - le remplacement d'une pièce détériorée est toujours possible,
  - la mise en continuité de la couche de roulement réduit le risque de défaut du système d'étanchéité sur l'ouvrage,
  - la diminution du nombre de lignes de joint entraîne une réduction des coûts de maintenance et amène une amélioration du confort de l'utilisateur.

A. GHENASSIA et J.C. BERTEL

Un montage audiovisuel de présentation des travaux est disponible



### Positionnement des gaines de précontrainte dans les sections de reprise de bétonnage

La généralisation de la précontrainte extérieure, ne doit faire oublier l'expérience acquise, en ce qui concerne le positionnement des gaines intérieures au béton. L'incident décrit ci-après concerne un pont poussé, et plus précisément les câbles de poussage (12 T 15) situés dans le hourdis supérieur, mais il n'est pas particulier à ce type d'ouvrage.

#### Constatations

On a observé plusieurs éclatements en tronc de cône très aplati, en face inférieure du hourdis supérieur, après la reprise de bétonnage. La présence d'une gaine ovalisée au sommet de chaque éclatement indique clairement que les désordres sont dus à des poussées au vide exercées par les câbles.

Les éclatements se sont toujours produits du même côté par rapport à la nervure d'ancrage, après la reprise de bétonnage, dans une zone où le câble est théoriquement horizontal, bien que le câblage soit symétrique par rapport à la nervure. Nous n'avons constaté aucun désordre dans le hourdis inférieur pour lequel les dispositions sont semblables, mais inversées.

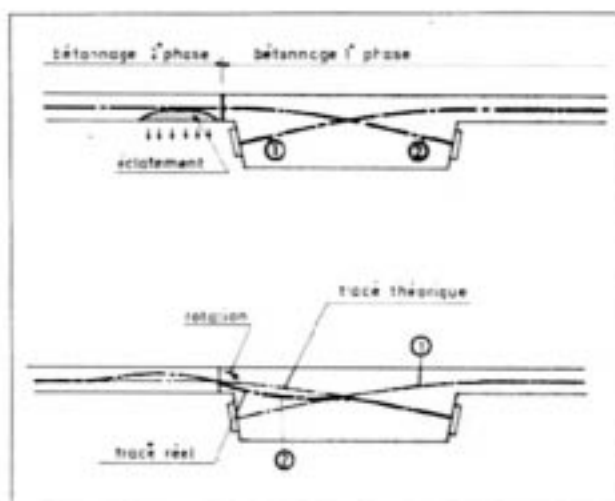
#### Causes des désordres

Le fait que les câbles aient pu être injectés avant réparation indique que le raccordement des gaines a été correctement exécuté, sans cassure angulaire. L'incident est donc dû au fait que dans la section de reprise de bétonnage, la tangente prolongeant le tracé de la gaine n'était pas horizontale.

Pour imposer une variation de courbure brutale à une gaine il faut des supports rigides et rapprochés, il est encore plus difficile d'imposer une courbure constante avec une tangente correcte à l'extrémité lorsque l'on ne dispose pas de surlongueur pour maintenir la gaine. Dans le cas du câble (2) le poids de la gaine crée dans la section de reprise une rotation parasite supplémentaire de même signe. Le cumul de ces deux causes, qui n'a lieu que pour le câble (2) explique sans doute le fait que l'on n'ait pas observé d'éclatements pour les autres câbles (câble (1) et câbles de hourdis inférieur).

### Remèdes

Des supports de câbles rigides doivent assurer un bon positionnement de la gaine, et la maintenir pendant le bétonnage. Près des variations brutales de courbure, et surtout près des abouts, il est nécessaire de resserrer ces supports. Dans le cas présent, afin d'imposer une tangente correcte à l'extrémité il aurait été judicieux de placer dans la gaine un dispositif provisoire suffisamment rigide qui débordé largement de part et d'autre la section de reprise de bétonnage (au minimum un tube en PVC en polyéthylène suffisamment gros pour réduire le jeu).



### Conclusions

Il y a lieu de se méfier des fixations de gaines trop espacées qui introduisent des courbures parasites de poics propre sur les conduits insuffisamment rigides, avec des risques de poussées au vide non prévues.

Daniel LE FAUCHEUR

## 5

## Equipements et entretien

### Protection anticorrosion des équipements de superstructure du Viaduc "JULES VERNE"

Le Viaduc JULES VERNE, ouvrage exceptionnel sur la Rocade Nord-Est d'Amiens, est situé dans un site écologique, l'aspect extérieur a donc été particulièrement traité, au niveau des choix architecturaux et des équipements qui donnent la couleur de l'ouvrage. Ceux-ci ont fait l'objet d'une attention singulière, tant au point de l'esthétique et de la qualité que de leur tenue dans le temps.

#### Les gardes-corps

Il s'agit de Barrières Normales à Barreaudage Vertical (B.N.V.) d'un poids de 100 kg/ml. Elles sont réalisées en acier soudé, puis subissent une galvanisation à chaud par trempage. La difficulté était de définir le type de peinture à employer pour garantir une qualité optimale.

#### Prélaquage en usine

Au cours de la mise au point du marché, l'EQUIPEMENT ROUTIER, sous-traitant de l'Entreprise CAMPENON-BERNARD, a proposé d'utiliser une technique peu diffusée : le prélaquage en usine. Compte-tenu de l'expérience déjà acquise dans cette technique,

l'Entreprise proposait de porter la garantie de tenue à 10 ans. L'ensemble de la barrière est galvanisé. Les parties vues reçoivent ensuite le traitement suivant dans les ateliers STRUDLER à VILLIERS-COTTERET (02):

- léger sablage de la barrière galvanisée. Pour assurer un nettoyage du support et permettre un bon accrochage. (Élimination des gouttes et des scories de galvanisation est assurée par le galvanisateur);
- préchauffage en étuve à 220°C pour obtenir un réchauffage complet.



- pistage de poudre polyester qui adhère au support par effet électrostatique (les particules sont chargées à la buse de giclage et la barrière est connectée à l'électrode inverse);
- cuisson de la poudre dans l'étuve à 220° C. L'épaisseur minimale prescrite est de 200 microns.

#### Avantage du traitement

- Excellente adhérence entre le support galvanisé et laquage permettant une garantie de 10 ans sans décollement ni altération, et sans variation de teinte.
- Aspect lisse et brillant.
- Revêtement très dur, difficile à rayer, bien que légèrement fragile surtout quand l'épaisseur appliquée dépasse 500 microns (sensibilité aux coups).

Les barrières doivent être soigneusement emballées pour le transport, et manipulées avec précaution. A noter que les coups éventuels provoquant des écailles sont réparés avec une peinture au solvant de couleur identique.

#### Contrôles de fabrication

Ils ont été réalisés pour le Maître d'Oeuvre par le Laboratoire Régional de NANCY et de LILLE :

- Essai de vieillissement : il a été réalisé sur un échantillon de barreau prélaqué, conservé 5000 heures en brouillard salin. Après essai, aucune altération de la peinture n'est relevée. A proximité d'une raie profonde ayant traversé la peinture et la galvanisation, aucun décollement de la peinture n'est

observé, prouvant l'excellente adhérence de la peinture sur le support.

- Contrôle de la qualité de la gavanisation (aspect, épaisseur, qualité) sur chaque lot de barrière. Les épaisseurs sont souvent assez dispersées du fait de l'utilisation d'aciers différents entre les cornières de l'embase et les barreaux.
- Contrôle de la qualité de la peinture (aspect, épaisseur) sur chaque lot avant expédition.

#### Autres superstructures

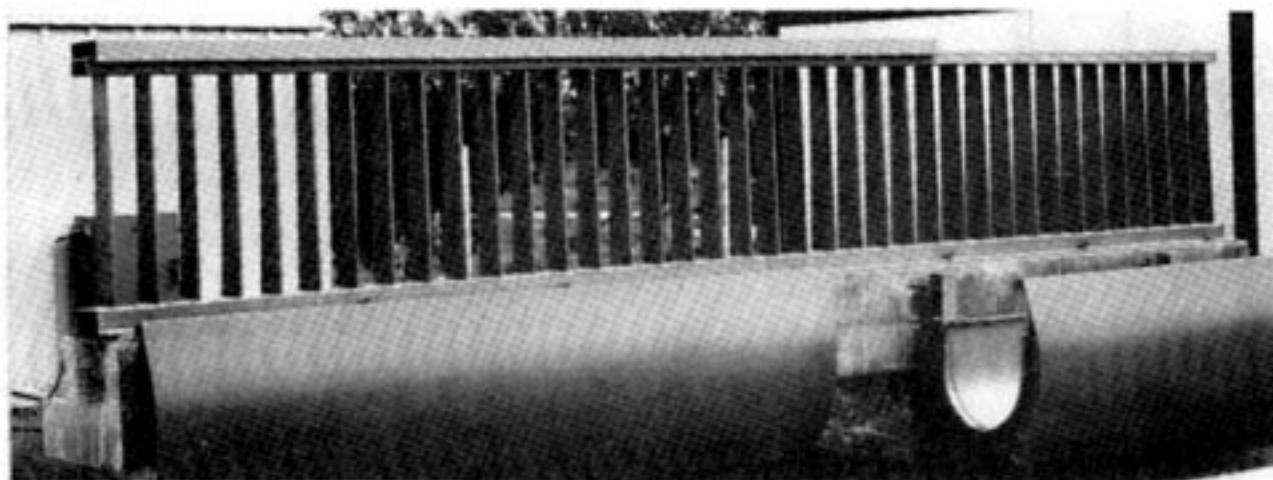
Caniveau : en tôle d'acier inoxydable, soutenu par les berceaux en acier galvanisé et séparé de celui-ci par une feuille isolante.

Corniches : en tôle d'aluminium prélaquée, avec une garantie de tenue identique aux B.N.V.

#### Eléments de coût (valeur 85)

B.N.V. :	2300 F/ml
Caniveau :	1100 F/ml
Corniche :	1200 F/ml

Laurent CARRERE

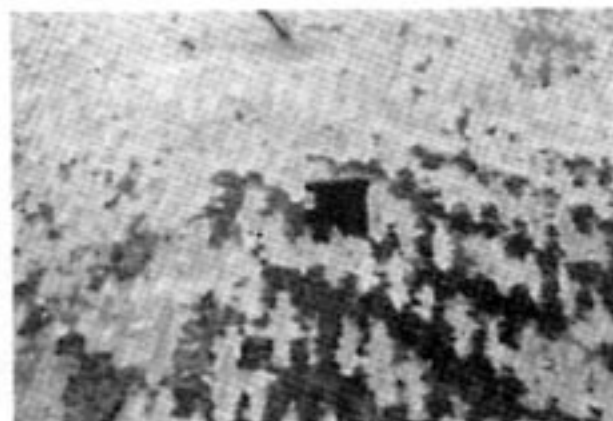


### Enlèvement des couches de roulement et d'étanchéité sur un pont

Quand le revêtement d'un pont est usé ou quand l'étanchéité s'avère défectueuse, on doit les charger. Pour cela, il faut déposer les couches en place avant de procéder à la mise en oeuvre des nouvelles.

Pour ces travaux, les gestionnaires consultent des Entreprises dites spécialisées. Or celles-ci le sont surtout dans le domaine de la réfection des enrobés routiers et rarement en étanchéité, ce qui explique que les propositions reçues consistent en l'utilisation de grosses machines raboteuses. Les entreprises font valoir les avantages de ce matériel : rapidité d'exécution et coût d'enlèvement modéré. Or bien souvent on oublie de préciser les inconvénients de ce mode d'enlèvement.

Nous attirons l'attention des Maîtres d'oeuvre sur ceux-ci, illustrés par la photo (qui n'est pas un cas isolé).





- Imprécisions ; le matériel ne permet de travailler qu'à la paire de centimètres près : On risque donc de ne pas enlever toute l'épaisseur ou d'en enlever trop, c'est-à-dire du béton de structure.
- L'état de surface est absolument incompatible avec une étanchéité et il faudrait donc procéder à un reprofilage mais avec quoi ?

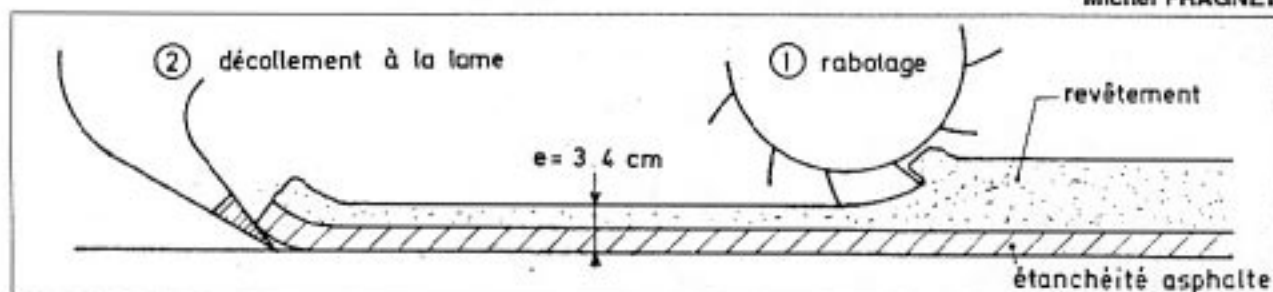
En effet le mortier de ciment en faible épaisseur a une mauvaise tenue sous le trafic et son temps de séchage accroît les délais. Les améliorations par émulsion de latex ou par résines époxydées sont peu efficaces pour les premières et onéreuses pour les secondes. Enfin pour un reprofilage en enrobé dense il faudrait être sûr qu'il n'y ait pas de défaut local dans

l'étanchéité, la couche de reprofilage diffusant alors les infiltrations sous toute l'étanchéité.

- Enfin, il y a la détérioration du béton de l'ouvrage avec la diminution de l'enrobage des armatures et tous les autres problèmes que l'on peut imaginer.

Nous conseillons donc aux Maîtres d'oeuvre de ne pas se laisser séduire par des arguments de coûts réduits et de délais raccourcis qui ne sont qu'apparents, et de bien penser aux coûts et aux délais réels auxquels ces techniques conduisent. Pour cela nous leur conseillons d'imposer, dans leur D.C.E. la procédure d'enlèvement des couches décrites dans le fascicule du STER "réfection des étanchéités et des couches de roulement sur pont", paragraphe 4.2, p 16 et 17 et rappelé sur le croquis ci-dessous.

Michel FRAGNET



6

Matériaux

### Point sur la réglementation relative aux armatures et procédés de précontrainte

L'état de la réglementation tant pour les armatures de la précontrainte que pour les procédés de précontrainte vient d'être rappelé par une circulaire (n° 86.64 du 4 septembre 1986) qui a pu passer inaperçue dans la mesure où, par erreur, sa couverture n'attire pas l'attention sur l'ensemble de sa consistance.

#### Pour les armatures de précontrainte

Cette circulaire complète par ailleurs les textes de base fascicule 4 titre II du C.C.T.G., règlement de l'homologation et du contrôle) sur trois points principaux.

#### • Résistance à la traction déviée des torons T13 et T15 :

Une borne supérieure pour le coefficient de perte de résistance en traction déviée vient d'être fixée à 28% par cette nouvelle circulaire. Le mode opératoire de l'essai de traction déviée est disponible au L.C.P.C. Dans un premier temps, il est recommandé, de prévoir systématiquement aux pièces écrites des marchés un prélèvement conservatoire (12 longueurs de 2,5m) par lot en début de chantier, à transmettre au L.C.P.C. simultanément avec les informations relatives à la mise en tension (déroulement correct ou incident).

#### • Modifications des tolérances de section de torons super :

Une mention d'aptitude à respecter des tolérances de section plus réduites (- 2%, + 2%) que celles définies par le fascicule 4 titre II du CCTG, vient d'être introduite

pour les torons super. Cette mention est désormais obligatoire pour les utilisations en France de torons super ancrés avec des clavettes bivalentes (utilisables pour ancrer les torons standard et super). A ce jour seuls les torons de la société TELNOR bénéficient de cette aptitude.

#### • Modification des profondeurs de crantage des fils crantés :

Les valeurs médianes des intervalles spécifiés pour la tolérance des profondeurs de crantage des fils ont été diminuées, et les étendues de ces intervalles réduites.

Il faut savoir également que trois circulaires d'homologation ont été signées à ce jour :

- n° 84.23 du 30 mars 1984
- n° 84.41 du 27 juin 1984
- n° 86.64 du 4 septembre 1986

Dans la dernière circulaire, figurent les tableaux récapitulatifs à jour des armatures homologuées. Les fiches d'homologation de ces armatures sont disponibles sous forme d'un recueil au L.C.P.C.. En complément à ces homologations, il y a lieu de noter que les armatures suivantes bénéficient ou vont bénéficier d'une autorisation de fourniture :

- Fils lisses et crantés de diamètres 4 à 7mm (classe 1770 4mm, et 5mm. Classe 1670 : diamètre 5 et 7mm) produits par l'usine de Caivano de la société Redaselli Tecnasud.
- Torons 7 fils T9,3, 12,5 et 12,9 (classe 1860) T15,2 et 15,7 (classe 1770) produits par l'usine de Fontaine l'Évêque de la société FAP.
- Barres Macalloy diamètre 26 à 50mm

## Pour les procédés de précontrainte

La circulaire n° 86.64 complète les textes de base (règlement de l'agrément et du contrôle, circulaire n° 84.22 du 30 mars 1984) sur les points suivants:

- Ancrages des torons super :  
les procédés utilisant des clavettes bivalentes ont l'obligation d'utiliser des torons bénéficiant d'une tolérance réduite à - 2% + 2%
- Limites d'emploi et recommandations concernant l'utilisation des coupleurs.
- Conditions techniques et administratives auxquelles sont assujetties les adaptations de détail des ancrages.
- Précontrainte extérieure : des différentes technologies en fonction du niveau d'exigences ; conduite à tenir par le maître d'oeuvre.
- Condition de livraison et de protection des pièces d'ancrage.
- Conditions d'intervention sur chantier de la mission VCU.

La circulaire n° 84.22 du 30 mars 1984 faisait le point des agréments et autorisations de distribution. Depuis cette circulaire, deux circulaires d'agrément ont été signées :

- circulaire n° 86.39 du 6 mai relative au procédé Dywidag barres
- circulaire n° 86.79 du 18 novembre 1986 relative au procédé CCL-U.

et des autorisations de fourniture ont été accordées au :

- procédé Freyssinet type K (validité 1.01. 1988)
- procédé CCLEF (validité 1.01. 1990)
- procédé CONA Mono (validité 1.01. 1990)
- procédé à barres Macalloy GP (validité 1.01. 1991)

Il y a lieu de noter par ailleurs que les circulaires d'agrément relatives au procédé BBR et au procédé VSL vont être adressées prochainement à la DAEI pour signature et que les situations administratives des procédés PAC, LH et Freyssinet Monogroupe dont les agréments ou autorisations de distribution sont caducs, seront régularisées avant fin juillet 1987 sous la forme d'autorisation de distribution.

Robert CHAUSSIN et Bernard CRETON

7

Tribune libre

## L'établissement du prix des Ouvrages d'Art

Les Ingénieurs Projeteurs qui travaillent au SETRA, dans les DDE ou les bureaux d'études d'entreprises ont souvent bien du mal à estimer le coût des ouvrages qu'ils ont conçus. Et on les comprend lorsque l'on constate aux ouvertures de plis de soumission des différences de prix allant parfois jusqu'à 100% entre les moins-disant et les plus-disant; mieux encore lorsque des variantes identiques sont classées dans un ordre inverse par les différents soumissionnaires.

La raison en est que l'estimation de travaux de Génie Civil en général et d'ouvrages d'art en particulier est oeuvre subjective liée à un nombre de paramètres important qui dépendent du développement technologique de l'entreprise, de son histoire, de son parc de matériel ou de son goût du risque, mais également de la capacité de ses ingénieurs et même, oserons-nous dire du degré d'optimisme ou de pessimisme de ses estimateurs au moment de l'étude de prix! Lorsque l'on est Ingénieur Projeteur dans une Administration et que l'on a la chance d'avoir un certain recul par rapport à l'événement, on utilise pour l'estimation des coûts des séries statistiques de prix relatives à des ouvrages comparables. La loi des grands nombres aidant, le résultat de l'application de prix unitaires de vente aux quantités que l'on a soi-même établies conduit à un résultat moyen qui souvent n'est pas trop éloigné de la réalité. Or cette réalité, on la découvre souvent bien longtemps après, au moment de la remise des soumissions par les entreprises, et l'on a parfois la surprise - bonne - d'avoir des réponses à 20% de son estimation quand le marché est très concurrentiel, ou mauvaise de devoir déclarer l'appel d'offre infructueux quand les carnets de commande abondamment regarnis permettent aux entreprises de répondre à des prix confortables.

En revanche, lorsque l'on est Ingénieur Estimateur dans une Entreprise, les prix de vente sont la dernière chose à

laquelle on s'intéresse, en général quelques heures seulement avant la remise des offres et leur établissement qui se fait avec l'accord et sur les instructions du "Patron" ne reflète pas toujours la substance de l'étude proprement dite. Ce qui compte, c'est le coût global de l'ouvrage qui n'est autre que la somme d'un certain nombre de coûts élémentaires regroupés sous les rubriques suivantes :

Main d'Oeuvre	Frais d'études
Fournitures	Sous-traitants
Matériel standard	Frais proportionnels
Matériel spécial	(incluant frais de siège et
Installations	bénéfices)
Frais de chantier	

Au vu des postes ci-dessus, on imagine aisément que certains d'entre eux doivent être très comparables dans les différentes offres, sauf erreur manifeste. Il s'agit des fournitures, des installations, voire des frais de chantiers. Par contre les autres postes peuvent varier de manière totalement aléatoire. La Main d'Oeuvre implique la connaissance de rendements qui sont fonction de l'expérience de l'Entreprise. Telle d'entre elles qui vient de réaliser un coup d'éclat sur un tablier "poussé" privilégiera cette solution par rapport à la "construction en encorbellement", ou réciproquement. Le même raisonnement s'applique bien évidemment à toute autre partie d'ouvrage (piles-fondations). Le matériel standard peut voir son coût varier sensiblement -pour un même ouvrage - d'une entreprise à une autre, pour deux raisons: d'une part la nature et la quantité de matériel peut différer entre une entreprise qui en emploie peu et une autre qui considère - à juste titre - qu'il est préférable d'équiper correctement les chantiers de manière à obtenir des cadences et des rendements supérieurs; d'autre part, à matériel égal, une entreprise dont le carnet de commande est peu garni sera tenté de faire de gros abattements sur le montant des amortissements, sinon les compter pour zéro, malgré les conséquences fâcheuses de cette pratique sur l'avenir de son patrimoine.

Le matériel spécial, qui constitue souvent la part la

plus noble de l'étude (équipages, poutres de lancement...) génère lui aussi deux types d'aléas : l'estimation de son coût de fabrication n'est pas chose facile, surtout lorsque ce matériel est de conception nouvelle, (pont à haubans par exemple). On cumule en effet les incertitudes sur les quantités - de charpente par exemple - et sur les prix unitaires. De plus, le montant à retenir pour l'amortissement de ce matériel spécial est également aléatoire, fonction du marché futur, et ressort d'une décision de direction générale.

Les frais d'études, qui devraient être identiques dans toutes les offres, bien souvent ne le sont pas, pour des raisons inavouables que sont les sous-estimations volontaires ou non des bureaux d'études d'entreprises ou de sous-traitants extérieurs, sans même parler de l'impact des nouvelles dispositions relatives à l'assurance qualité. Les frais proportionnels, enfin sont

des sujets sur lesquels les directions générales aiment à s'exercer. Ils peuvent, selon la conjoncture, varier entre un confortable pourcentage positif et une valeur négative... très inconfortable pour l'Entreprise au moment de l'établissement du compte d'exploitation définitif.

Quand la savante alchimie décrite ci-dessus a terminé de mijoter, et que tous les grands esprits de l'Entreprise se sont penchés sur le berceau de la nouvelle soumission, alors naît dans le plus grand secret le chiffre que l'on inscrit - nuitamment de préférence - sur l'acte d'engagement. Et l'on peut enfin "tirer" les fameux prix de vente au mieux des intérêts réels ou supputés de l'Entreprise, lesquels seront livrés en pâture aux ingénieurs de l'Administration ... et le cycle recommence.

Philippe DRISIN

## Première expérience d'un P.A.Q.

La construction du nouveau pont sur la Seine à Montereau, dont le maître d'ouvrage est le Département de Seine et Marne, a débuté en octobre 1986 et doit s'achever en février 1988. A mi-chantier, on peut déjà tirer quelques enseignements de l'élaboration et de l'application du plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.).

Le Dossier de Consultation des Entreprises comportait une option béton précontraint (3 travées avec piles en rivière) et une option béton précontraint unique. Le cadre de P.A.Q. demandé à l'appui des offres n'a pas fait recette : toutes les entreprises sont restées muettes; elles ont préféré en réserver l'investissement intellectuel au titulaire. Les critères de prix et d'architecture ont fait retenir l'option à ossature mixte, fruit d'un travail d'équipe DDE 77 - DESRET - Architecte local. Le groupement conjoint CAMPENON BERNARD (mandataire général) - URBAINE DE TRAVAUX - PAGOT (lot n° 1 : béton) et BAUDIN CHATEAUNEUF (lot n° 2 : métal) est déclaré titulaire du marché. Le lot n° 1 comprend la construction des culées, équipées de peaux coffrantes constituées d'éléments préfabriqués en béton coloré servant de coffrage perdu, du hourdis du tablier mixte et des équipements. Le lot n° 2 porte sur la fabrication en usine, le montage et la peinture sur chantier des deux poutres métalliques, de 80 mètres de longueur et de ses pièces annexes (entretoises, appareils d'appui métallique...).

Compte tenu de la particularité des deux lots, de leur décalage dans le temps (début de construction des culées : octobre 1986, début de fabrication des poutres en usine : mars 1987) et de l'inexpérience, nous avons convenu exceptionnellement d'établir un P.A.Q. par lot.

### LE P.A.Q. DU LOT BETON

Au début de la période de préparation, pour lancer la mécanique, la DESRET mettant à profit sa participation au sous-groupe P.A.Q. de la Commission du fascicule 65 allégé, a dressé un cadre des dispositions générales du P.A.Q. L'entreprise CAMPENON BERNARD, recourant à son Service Qualité, qui possède l'expérience de la construction des centrales nucléaires, a alors établi l'ossature de son P.A.Q. comprenant l'Organisation Générale du chantier et la liste des procédures et des fiches de suivi. Solide, ce document a pu, moyennant quelques modifications, entrer en application au début des travaux.

Toutefois, son utilisation chronologique pratique : présentation de la procédure écrite, discussion et mise

au point en réunion de chantier, ouverture de la fiche et mise à jour au fur et à mesure du déroulement des tâches, a mis quatre mois à se roder. L'application du P.A.Q., grâce notamment au Directeur de Travaux de l'Entreprise, qui a joué le jeu et fait passer le message sur le chantier, a été ressentie positivement par les différents interlocuteurs. En particulier, le conducteur de Travaux de la D.D.E., connaissant l'enchaînement des tâches, maîtrise mieux ses investigations et se partage plus efficacement entre les deux chantiers dont il assure la surveillance. Par contre, le message passe beaucoup plus difficilement auprès des sous-traitants. A cet égard, la fabrication des peaux coffrantes sous-traitée par l'Entreprise à une société d'ingénierie spécialisée, sous-traitant elle-même à un fabricant est significative. Ce dernier, effrayé par la "paperasserie" n'a toujours pas fourni la procédure, mais le refus d'une vingtaine de peaux coffrantes défectueuses (20% de la fabrication) l'a tout de même convaincu que son avenir dans ce type d'activité passait nécessairement par la désignation d'un responsable compétent de la qualité.

### LE PAQ DU LOT METAL

Ne nous étendons pas pour l'instant sur le PAQ métal qui entre seulement en application. Précisons simplement que son contenu a été mis au point en collaboration avec le réseau des Laboratoires Régionaux (BLOIS, pour l'usine de CHATEAUNEUF sur LOIRE) avec le souci de rendre complémentaires le contrôle interne et le contrôle extérieur si possible en cohérence avec les autres maîtres d'œuvre également en affaire avec BAUDIN CHATEAUNEUF.

Le groupement d'entreprises a investi dans le PAQ (investissement évalué à 1% du montant du marché). Cela s'est répercuté sur la qualité du travail produit et tous les interlocuteurs, y compris les plus réticents, se sont enrichis. Mais cette expérience en cours nous incite à explorer quelques pistes : comment récompenser les Entreprises qui jouent le jeu de PAQ et pénaliser celles qui le négligent \*, comment obtenir que les Entreprises moyennes se dotent de "Services Méthodes" de qualité alors que la mode est aux compressions de personnel, comment moduler le travail de surveillance du contrôle extérieur, en fonction de la nature des travaux et de l'Entreprise titulaire, sachant que le Maître d'ouvrage et surtout le public attendent de la DDE un ouvrage de qualité garantissant une sécurité sans faille pendant sa construction et sa durée de vie.



## \* NDLR

De nombreux maîtres d'œuvres font part de cette préoccupation. Bien que le contrôle interne ne fasse l'objet d'aucun prix particulier (cf. article 41.3 du fasc. 65), ils ressentent la nécessité de stimuler les convictions de certaines Entreprises vis à vis de la formalisation de l'Assurance Qualité. Ainsi ils suggèrent :

- d'associer le paiement d'une fraction de l'installation de chantier à la mise au point de la partie "organisation générale" du PAQ qui doit être achevée en fin de période de préparation. (La répartition 70% à l'installation, 30% au réajustement habituellement pratiqué devenant par exemple : 50% installation, 20% acceptation de l'organisation générale, 30% réajustement).
- de considérer que les procédures d'exécution et les documents de suivi du PAQ établis tout au cours de la réalisation des travaux font partie des documents fournis après exécution (article 9.4 du CCAP), l'absence de

production entraînant une retenue fixée par le Maître d'œuvre au CCAP (article 4.5).

Une autre approche, peut être moins "pénalisante" dans l'esprit mais dont les effets seraient identiques, consiste pour le Maître d'œuvre à fixer le montant d'un prix unitaire pour la remise en fin de chantier des documents d'exécution du PAQ. (1% par exemple).

Ces dispositions ne sont applicables que dans la mesure où la nature de ces documents (liste et exemple de procédures, liste et exemple de documents de suivi) a été arrêtée avec suffisamment de précision au plus tard à la mise au point de l'organisation générale du PAQ.

Par ailleurs afin d'éviter que les Entreprises joignent à l'appui de leurs offres des renseignements peu significatifs sur le PAQ, (ou aucun document) il serait peut être intéressant dans un premier temps de limiter le nombre de renseignements à fournir à l'appui de l'offre, mais de préciser au RPAO que les attributaires potentiels du marché auront à

fournir au Maître d'œuvre, pendant la période d'examen des offres, des précisions concernant le Plan d'Assurance Qualité (éléments de l'organisation générale ou procédures d'exécution sur des points particulièrement sensibles de l'exécution).

Cette organisation permettrait :

- pour les entreprises, de limiter l'investissement aux Entreprises les mieux placées
- pour le Maître d'œuvre, d'obtenir des réponses plus concrètes, les Entreprises concernées étant à ce stade davantage motivées pour étayer et préciser leurs propositions.

Nous pouvons ajouter quant à nous qu'il faut faire connaître les Entreprises qui prennent au sérieux la démarche de l'Assurance Qualité, et qu'en cas de faible écart de prix à l'appel d'offres, le critère qualité devrait pouvoir jouer en leur faveur (critère à mentionner évidemment au RPAO).

Christian BOITEAU

## 8

## Informations brèves

### Guide d'emploi du règlement Français de béton armé aux états limités (BAEL 83)

Il est paru en Avril 1987. Ce document présente les méthodes générales de calcul des ouvrages en béton armé suivant les règles aux états-limités B.A.E.L. 83, accompagnées de nombreux exemples d'application aux ponts. Un premier chapitre traite des actions s'exerçant sur les ponts-routes et des combinaisons à étudier. Les chapitres 2 et 3 sont consacrés respectivement aux justifications des sections sous sollicitations normales et tangentes. Le chapitre 4 précise les dispositions particulières à certains éléments et propose un exemple de calcul des déformations. Enfin une annexe, présentée sous forme de tableaux constitue un aide-mémoire à l'usage des projecteurs.

- nombre de pages : 313 ; prix de vente : 180F. Ce document est disponible, sous la référence F 8724 au bureau de vente des publications du S.E.T.R.A.  
- Tél. 42.31.31.53 et 42.31.31.55

Fédéric EDON

### Avaloirs de pont

Le dispositif décrit dans le dossier STER 81, sous-dossier E, chapitre II, p. 25,26, est maintenant commercialisé, en accord avec le SETRA, par :

la Société IB-MORIN CIPEC  
29, Avenue Gustave Mesureur  
78170 LA CELLE SAINT CLOUD  
Tél 49.18.06.54

Le coût actuel est de l'ordre de 900 F HT, unité, départ usine. A ce sujet, signalons que la Cellule Equipement du DOA prépare un document sur l'évacuation des eaux sur un pont et que d'ores et déjà des éléments d'information peuvent être fournis sur le sujet.

Michel FRAGNET

### Le nouveau Fascicule 56

La publication du nouveau fascicule 56 du CCTG relatif à la protection des ouvrages métalliques contre la corrosion est imminente. Notre prochain numéro proposera un résumé succinct des nouvelles dispositions adoptées sur ce sujet.

### Conditions d'emploi des appareils d'appui à pot d'élastomère

Il n'existe pas de réglementation en France concernant la fabrication et l'utilisation de ces produits. Ceci est valable quelle que soit la provenance de ces produits. La dernière édition (1977) du Bulletin Technique n° 4 ne donne que des indications non contractualisables sur certaines fabrications. En outre, ces informations ne sont plus d'actualité. Sous l'effet de la concurrence, ces produits sont de plus en plus souvent proposés en France pour des conditions d'emploi dépassant largement les limites normales d'utilisation couramment admises. N'ayant pas la possibilité de contrôler le P.A.Q. des fabricants, le S.E.T.R.A., en Août 1986, a envoyé aux D.O.A. des C.E.T.E. des indications sur le minimum de précautions à exiger dans les C.C.T.P. Il est conseillé de se rapprocher des D.O.A. des C.E.T.E. pour rédiger les clauses techniques contractuelles concernant ces produits. Le coût de ces recommandations est marginal par rapport à un contrôle en usine. La plupart des fournisseurs acceptent de s'y conformer pour peu que les pièces écrites de l'appel d'offres en fassent état.

Gilbert ENNESSER

### Nouvelles notes d'information du SETRA

- Ouvrages d'art n° 2 Avril 87

La qualité des ouvrages en béton précontraint est très liée à la bonne exécution de la précontrainte. Il existe, maintenant, des possibilités de contrôler cette exécution grâce à la radiographie (ou scopie), par exemple le système SCORPION. La note d'information n°2 "contrôle radioscopique de l'injection des câbles de précontrainte- utilisation du système scorpion" rappelle l'intérêt de l'utilisation de ces matériels.

- Ouvrages d'art n° 3 Avril 87

Les références fournies par les Entreprises quant à la qualification du personnel chargé de la mise en oeuvre de la précontrainte (CMP) sont souvent imprécises et manquent de fiabilité. La note d'information n°3 "mise en oeuvre de la précontrainte : compétence du personnel d'exécution" donne quelques indications aux maîtres d'œuvres pour la préparation des dossiers de consultation.