

OUVRAGES D'ART

CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART



Bulletin de liaison diffusé par
le Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art
du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes



N° 27
Juillet 1997

Le pont de St Rémy de Maurienne sur l'A 43, un parti original : la précontrainte extradossée

La Société Française du Tunnel Routier du Fréjus, concessionnaire du tunnel du Fréjus depuis 1974, s'est vue confier en 1993 la concession de la construction et de l'exploitation des 63,5 km de l'autoroute A 43 dans la vallée de la Maurienne.

Ce maillon de 63,5 km entre Aiton et l'entrée du tunnel s'intègre dans un grand axe autoroutier Nord-Sud.

Dans la section basse de la vallée, le rétablissement de l'accès à la commune de St Rémy de Maurienne depuis la RN 6 a nécessité la construction d'un échangeur dénivelé sur la RN 6, prolongé par un ouvrage franchissant l'Arc, l'autoroute et une voie communale.

Cet ouvrage remplace l'ancien pont de St Rémy de Maurienne, reconstruit en 1953 au titre des dommages de guerre, et qui a dû



être démolli dans le cadre des travaux autoroutiers.

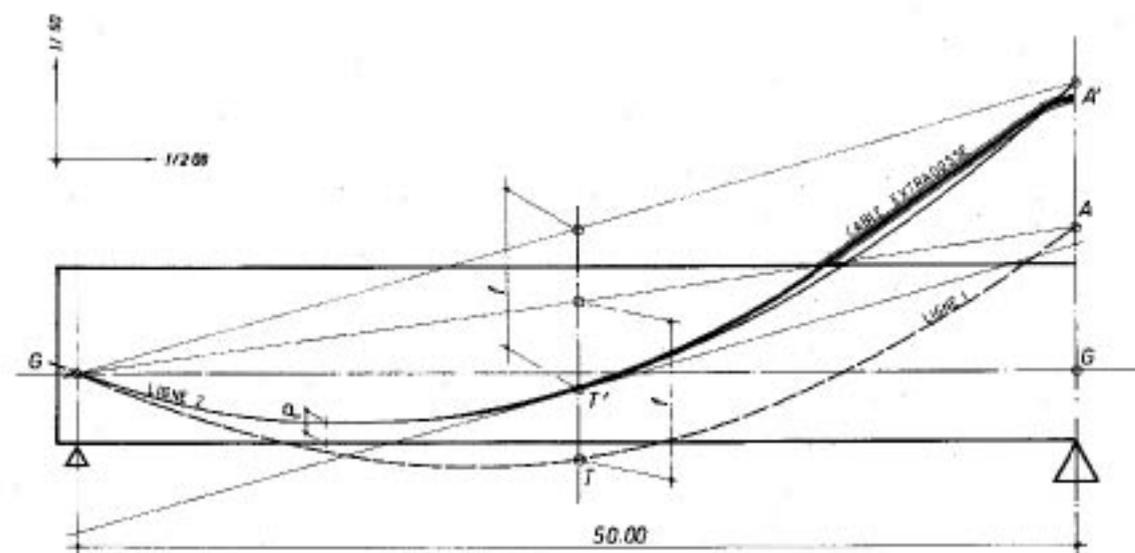
La précontrainte extradossée : un parti technique original

Un parti technique original a été retenu pour cet ouvrage : c'est celui de la précontrainte extradossée, les câbles de précontrainte ayant en partie un tracé aérien situé à l'extérieur de la structure béton.

Les avantages de ce choix technique sont de deux ordres :

■ **Technique** : optimisation de la quantité de matière et possibilité de mettre en œuvre la force optimale résultant de la seule variation de moment avec une flèche de câblage bien supérieure à la hauteur de la section.

Vue générale de l'ouvrage



Principe de l'extradossement

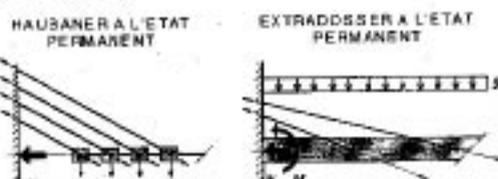
• L'application de l'expression $F = \Delta M = \text{Variation de Moment}$ place le centre de pression idéal en A sur appui, et en T en travée.
-h- Hauteur Noyau

- Ces 2 points A et T de la ligne 1, de flèche f, sont hors du béton des poutres latérales.
- On relève que cette ligne est quasiment "concordante" (Moment hyperstatique faible) ce qui permet de l'interpréter dès l'origine comme câble théoriquement possible.
- Il faut donc relever la ligne en A' et T en conservant la flèche f pour avoir la projection ainsi P du câblage et créer ainsi la ligne 2. On trace ensuite un câble extradossé au plus près, rectiligne dans son parcours aérien, centré sur l'appui principal.

■ **Esthétique** : optimisation de l'élanement de la structure, permettant de franchir deux portées d'environ 50 m avec 90 cm d'épaisseur entre le profil en long de la chaussée finie et l'intrados, pour des poutres de 2,15 m de hauteur.

Un concept différent de celui du haubanage

Le concept de la précontrainte extradossée se distingue de celui du haubanage classique. Il s'agit en effet de contraindre une structure rigide à des efforts inverses adéquats par les déviations d'un câblage et l'ajout d'effort normal plutôt que de procéder au pendulage d'une structure sans raideur n'offrant que sa charge permanente pour réaliser la tension des haubans.



La répartition des efforts géométriques de fait, une courbe géométrique en même temps qu'un effort normal qui dépendent que de la charge permanente. Les charges d'exploitation génèrent des surtensions appréciables de haubans et des moments inverses. Le problème de la répartition des haubans est posé.

La mise en œuvre des efforts de précontrainte géométriques avec la charge permanente P (à M) anticipant les charges d'exploitation qui génèrent des moments inverses et des surtensions locales des câbles. Le problème de la répartition des câbles n'est pas posé dans ce cas.

Une structure courbe

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont les suivantes :

- **Longueur** : $L = 101$ m en 2 travées de 52,50 m et 48,50 m
- **Tracé en plan circulaire** : $R = 500$ m
- **Profil en long parabolique** : $R = 3200$ m

Le tablier coulé sur cintre est constitué de deux poutres latérales en béton précontraint reliées par des pièces de pont espacées tous les 2,27 m. Ces pièces de pont supportent un hourdis de 22 cm d'épaisseur constitué de prédalles préfabriquées, permettant ainsi une réalisation rapide du tablier.



Les spécificités de la précontrainte

La précontrainte est constituée de 6 câbles 34T15 par poutre latérale. L'extradossement permet d'en optimiser le tracé. Une partie se trouve ainsi à l'air libre à proximité de l'appui central. Cet appui est prolongé par une structure en béton au dessus du tablier (déviateur) dans laquelle passent les câbles de précontrainte.



Les câbles sont donc continus sur la totalité de la longueur de l'ouvrage, les ancrages étant uniquement situés aux extrémités.

Le fait d'extraire le câblage (extradossement) entraîne essentiellement :

Schéma de comparaison du haubanage et de l'extradossement

Mise en œuvre de la précontrainte (vue des abouts)

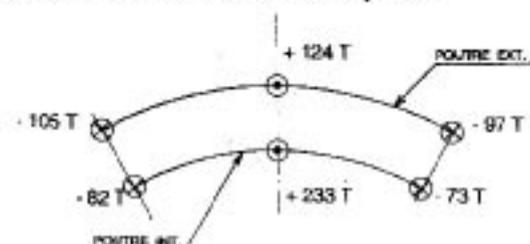
Tablier et déviateur en construction



- une implantation rigoureuse du câblage et son suivi lors du bétonnage
- un tracé rectiligne dans la zone aérienne le long duquel il n'y a pas d'action réciproque câble/béton
- un abaissement à 0,60 Frg de la contrainte initiale de l'armature active pour être en mesure d'accepter quelques surtensions de fatigue liées à la position du câblage
- une injection à la cire pétrolière, permettant la non adhérence de l'armature active et l'étalement des surtensions liées à la fatigue, et permettant aussi de démonter ultérieurement la précontrainte en cas de besoin et de passer de 34 à 37 torons par câble
- la mise sous tubage acier étanche des torons et de cette cire dans la partie aérienne et le peignage des torons au passage du déviateur. Pour éviter toute tension des tubes aciers consécutive à leur solidarisation à la structure béton par leurs deux extrémités, le dispositif suivant a été adopté :
 - serrage d'une bride étanche sur la structure béton en leur point bas
 - mise en place d'un système télescopique étanche (joint d'onde) en leur point haut

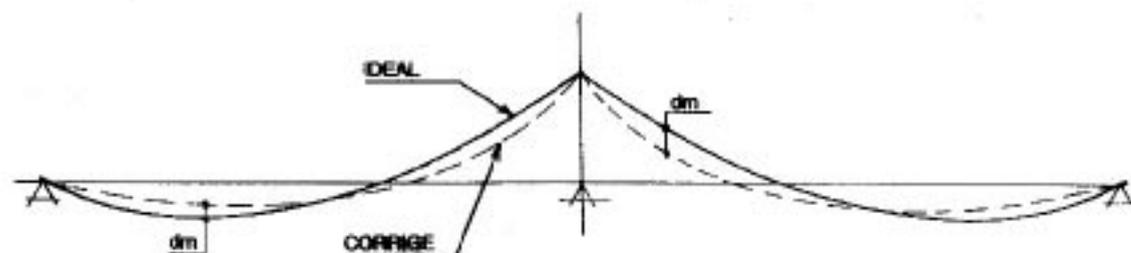
La recherche du câblage extradossé

Comme cela a été indiqué précédemment, la recherche du câblage extradossé est guidée par la volonté de mettre en œuvre la force optimale résultant de la seule variation de moment. Dans le cas du pont de St Rémy, cette recherche est quelque peu perturbée par une spécificité du projet, à savoir la courbure en plan de l'ouvrage. S'agissant par exemple des effets hyperstatiques de la précontrainte, les poutres latérales intérieure et extérieure se trouvent dans des situations différentes, car il faut trouver 6 forces verticales en équilibre.



A la lecture des résultats, on découvre une forte inégalité et un accroissement du moment hyperstatique dans la nervure intérieure par rapport à la valeur moyenne révélée aussi par le modèle plan. Il y a donc des corrections à introduire. Cela a consisté à retoucher le câble "idéal" avec des écarts de l'ordre du décimètre. L'effet de cette correction peut se contrôler assez rapidement.

Réactions hyperstatiques de précontrainte

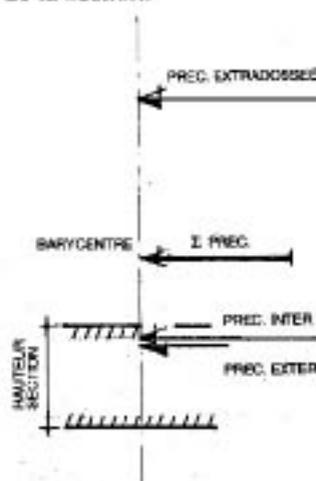


Correction du câblage

Dans le cadre d'une réflexion générale, il conviendra de s'interroger sur l'altitude du point de passage sur appui du câblage extradossé : le mode de construction orientera les choix possibles dès lors que les forces de précontrainte exigent d'être installées progressivement. Ainsi par exemple, pour une construction en encorbellement, il sera difficile d'échapper à une précontrainte classique intérieure de fléau que l'on renforcera précisément par quelques-uns des câbles extradossés envisagés. En pareil cas, une précontrainte classique extérieure au béton (donc toujours dans la section) ne sera pas à exclure.

Dans ce cas, pour définir le point de passage sur appui, on parlera dès lors plus volontiers de barycentre de toutes les précontraintes mises en œuvre, le câblage physiquement extradossé

permettant sur appui de s'extraire nettement au dessus de la section.



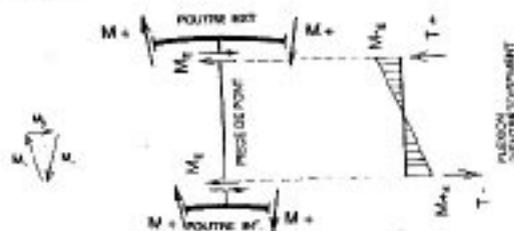
Recherche du câblage extradossé dans le cas d'une construction par encorbellement

Dans le cas du pont de St Rémy, dont le tablier est coulé directement en place, le passage du câble extradossé sur appui correspond à ce barycentre. Ce câblage n'est donc pas généralisable à toutes les structures méritant l'extradossement. La conception du viaduc des Usses, actuellement à l'étude pour le compte d'ATMB sur A 41, devrait illustrer cet autre type de câblage extradossé.

Les particularités du calcul

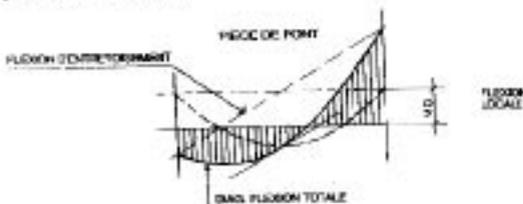
On doit par ailleurs s'interroger en détail sur les conséquences de la courbure en plan sur la réponse d'une telle structure à des effets de torsion générale.

Le "plancher" à pièces de pont offrirait assez d'inertie en flexion transversale pour éviter quasiment toute torsion dans les poutres latérales. C'est le schéma sous moments positifs avec des efforts tranchants qui surchargent la poutre extérieure et déchargent la poutre intérieure.



Mais les poutres latérales ne sont pas exemptes de rigidité de torsion : elles vont réduire l'effet d'entretoisement ci-dessus en étant elles-mêmes sollicitées en torsion.

Au titre des conséquences pratiques, les pièces de pont révèlent un diagramme de flexion qui mérite que l'on examine la continuité de leurs armatures dans le corps des poutres latérales.



Il faut enfin noter que l'armature de précontrainte ne participe pas au fonctionnement ELU sur appui (ni en travée, si l'on choisit une injection souple, ce qui était le cas pour cet ouvrage). Dans le même contexte, il n'y a pas sur appui, et quelle que soit l'injection, de notion de section d'enrobage par l'absence même d'armatures actives.

Un ouvrage dimensionné au séisme

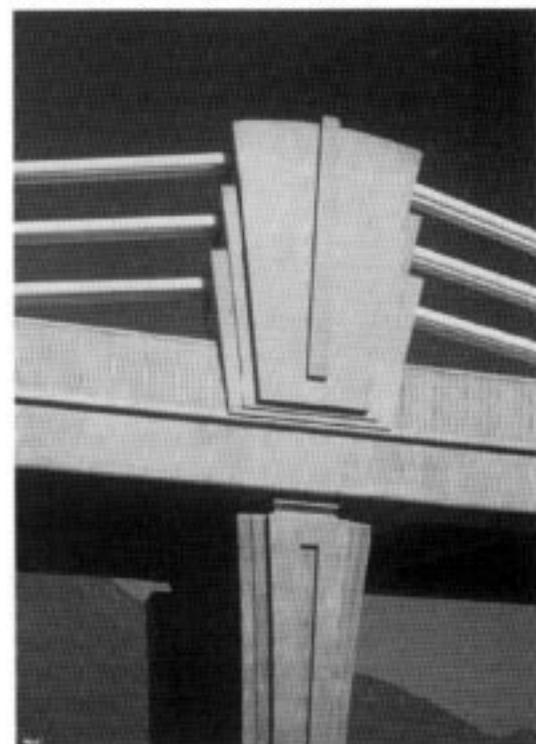
Comme tous les ouvrages de l'autoroute, la conception parasismique du pont de St Rémy de Maurienne a été élaborée selon les recommandations AFPS 90, l'ouvrage étant situé dans un canton de sismicité 1b.

La conception parasismique répond aux critères suivants :

- **Souplesse** : apportée par la forme de la pile et par les appuis sur néoprène (6 appareils de 620 mm x 520 mm et de 80 mm d'épaisseur)
- **Appui en toute sécurité** : butées au niveau des culées pour éviter que le tablier ne s'échappe
- **Ductilité** : ratio minimal d'acier pour éviter les ruptures fragiles en cas de séisme.

Quelques équipements particuliers

■ **incendie et vandalisme**. La partie aérienne du câblage est mise sous tube acier, étanche, lui-même entouré d'une gaine extérieure en aluminium laqué. Un matériau de 2,5 cm d'épaisseur à base de fibres céramiques aiguilletées de type KERLANE est mis en place entre les 2 tubes. Ce dispositif assure ainsi une protection du câble contre l'incendie normalisée de 1 heure (T° de référence = 925 °C).



Entretoisement par pièces de pont

Flexion des pièces de pont

Vue du déviateur



Vue de nuit sur l'ouvrage (main courante éclairée)

■ **étanchéité.** Par ailleurs, pour protéger la précontrainte située dans le béton, les poutres latérales et les déviateurs ont été revêtus sur la totalité de leurs faces intérieure et supérieure d'une étanchéité de type BAYTEC. Pour des raisons esthétiques, une peinture a été ajoutée à cette étanchéité.

■ **éclairage.** Une main courante éclairée a enfin été rajoutée sur la face intérieure de chaque poutre pour assurer la continuité de l'éclairage public.

Conclusion : une nouvelle famille d'ouvrages ?

La construction du pont de St Rémy de Maurienne a permis de mettre en œuvre en France le parti de la précontrainte extradossée, parti innovant sur lequel J. Mathivat avait déjà réfléchi. Le label IVOR a d'ailleurs été attribué à cet ouvrage dans le cadre du plan Génie Civil, pour qu'il serve d'ouvrage de référence pour la précontrainte extradossée.

Quelques rares exemples existaient à l'étranger. Un ouvrage presque similaire avait été construit en Suisse (Pont du Ganter), les câbles de précontrainte restant toutefois à l'intérieur de voiles en béton. Par ailleurs, trois ouvrages mettant en œuvre l'extradossement sont à différentes phases de réalisation au Japon.

Le résultat de cet exercice d'extradossement témoigne vraisemblablement d'une approche conjointe entre architectes et ingénieurs : le parti esthétique reflète en effet le parti technique, permettant ainsi d'associer forme et structure.

Certes il ne s'agit pas de systématiser l'extradossement de la précontrainte, mais rien n'interdit à l'avenir de recommencer cet exercice si le contexte s'y prête.

A. GRISON, J. TONELLO ■

Principales quantités mises en œuvre

● fondations profondes

- ▲ 519 ml de pieux forés
- ▲ 600 m³ de béton BF 25
- ▲ ratio d'acier : 80 kg/m³

● semelles, appuis, culées

- ▲ 1 100 m³ de béton B 35 GS
- ▲ 1 300 m² de coffrage
- ▲ ratio d'acier : 90 kg/m³

● tablier

- ▲ 1 000 m³ de béton B 40 GS
- ▲ ratio d'acier : 165 kg/m³
- ▲ 50 t de précontrainte

Coût

Le coût global des travaux est de 17,50 MF HT (juillet 1995)

Détails

Le délai global de réalisation a été de 18 mois, l'ouvrage ayant été mis en service le 21 juin 1996.

Intervenants

- ▲ Maître d'Ouvrage : SETBF
- ▲ Conduite d'Opération : SETEC
- ▲ Maîtrise d'Œuvre : IDE 73 dans le cadre du groupement SCETA/ROUTE/IDE 73 assisté du bureau TONELLO pour la conception de l'ouvrage
- ▲ Architecte : Charles Lavigne
- ▲ Entreprises : Groupement FOUGEROLLE BALLOT - SPADA - NICOLETTI - GERLAND

Sous-traitants :

- ▲ études d'exécution : SBODS
- ▲ pieux : EMOC
- ▲ précontrainte : FRESSINET
- ▲ remblais légers : SCBEG

GRISON Arnaud

IFC - IDE de la Savoie
Chef du Service Grands Travaux
Tel : 04 79 71 72 10

TONELLO Jean

Tonello Ingénieurs Conseils
Tel : 04 79 35 05 36

Utilisation du logiciel P.C.P. pour le contrôle de la réparation du pont de Tancarville

Introduction

La réparation du pont de Tancarville, actuellement en cours, a fait l'objet de nombreux calculs en grands déplacements de la part du bureau d'étude de l'entreprise.

Ceux-ci ont été validés au SETRA à l'aide du nouveau module non linéaire (NLI) du logiciel PCP. Il nous paraissait opportun de publier une information sur la teneur des réparations effectuées, les calculs menés et les évolutions du logiciel PCP. C'est pourquoi, après un rapide rappel historique, nous présenterons le module NLI, les divers modèles de calculs utilisés, ainsi que quelques résultats intéressants.



Pont de Tancarville
avant travaux
(photo : G. Forquet)

Préambule historique

Le 3 juillet 1959, on fêta la mise en service du pont de Tancarville, ouvrage suspendu qui enjambe l'estuaire de la Seine à hauteur de la ville éponyme.

Depuis lors, de nombreuses ruptures de fils des câbles porteurs furent détectées, jusqu'au 2 juillet 1995 où l'on a constaté la rupture complète d'un toron au droit de la sellette d'inflexion rive gauche amont. En parallèle à la mise en place d'un dispositif provisoire servant à rabouter les deux extrémités du toron rompu, un renforcement important de la surveillance acoustique de l'ouvrage, ainsi qu'une analyse poussée du problème ont abouti à la décision de remplacer la suspension dans les meilleurs délais. En juin 1996, l'attribution du marché de réparation se faisait au profit du groupement

d'entreprises Damez-GTM et Baudin-Chateaufort, la durée prévisionnelle des travaux étant de 28 mois.

Au mois de juillet 1996, le SETRA prenait en charge une mission de contrôle des études d'exécution.

Cette mission peut se décomposer en deux pôles complémentaires assez distincts. D'une part, il importait de vérifier les différents éléments constituant la nouvelle suspension (câbles, suspentes, colliers, étriers, selles en tête de pylônes, sellettes d'inflexion dans les chambres d'ancrage, déviateurs...). D'autre part, il fallait s'assurer que les éléments actuels (tablier, pylônes, tirants d'ancrage) subiraient sans dommage le transfert de charges de l'ancienne suspension à la nouvelle, et les efforts mis en jeu durant la future phase de service du pont.

Pour répondre à ces deux exigences, il nous fallait être capable de connaître les efforts en tout point de la structure, lors de chaque phase du changement de suspension.

Pour effectuer les différents calculs, l'utilisation d'un logiciel à barres classique était inadaptée pour deux raisons. D'une part, il est plus rigoureux de modéliser un câble à l'aide d'éléments de type "chaînettes", et non par une succession de barres biarticulées. D'autre part, la grande déformabilité de la structure impose la prise en compte des effets de non-linéarité géométrique. C'est pourquoi nous nous sommes tournés vers le logiciel PCP, dont le nouveau module NLI répondait à nos besoins.

Présentation du module non-linéaire de PCP

Le système PCP (Ponts Construits par Phases) a été développé au SETRA pour effectuer une vérification fine en contrôle d'exécution des ponts poussés, des ponts à haubans, des ponts construits en encorbellement, en tenant compte des effets différés (retrait, fluage du béton, relaxation des aciers), voire des ponts mixtes.

C'est, à l'origine, un programme à barres reposant sur la théorie de l'élasticité linéaire. L'introduction de fonctionnalités non linéaires s'est avérée indispensable dans les développements ultérieurs de PCP. Ainsi, le module NLI de PCP permet de traiter deux types de non-linéarités.

La "non-linéarité matériau" permet le calcul des structures en plasticité, la prise en compte de lois de fluage non linéaires... La non-linéarité géométrique (appelée couramment second ordre en Génie Civil) permet le calcul des structures très déformables.

En ce qui concerne le remplacement de la suspension du pont de Tancarville, la "non-linéarité matériau" n'a pas été retenue (excepté pour une étude de détail des tiges d'ancrage). Les barres modélisant les pylônes et le tablier, ont donc été définies classiquement, à l'aide de leur section, inertie et coordonnées du centre de torsion.

La suspension, quant à elle, a été modélisée par des éléments biarticulés de type chaînette (la section normale est leur seule caractéristique). Cet élément modélise au mieux les câbles et permet, en fonction des coordonnées de ses extrémités, de son poids linéique et de sa longueur à vide, de calculer les forces s'exerçant à ses extrémités.

L'utilisation du module NLI s'est avérée nécessaire pour le calcul d'un pont à câbles tel que celui de Tancarville. Un logiciel "classique" ne peut mener ce type de calcul car la matrice de rigidité qu'il génère est singulière (son déterminant est nul).

Un modèle 2D pour l'étude du transfert de charges

■ Le principe du transfert :

Le principe de la réparation est de remplacer chacun des câbles par deux câbles de plus petit diamètre (cf. fiche technique). Les deux nouveaux câbles seront situés de part et d'autre de l'ancien câble et viendront s'ancrer sur les tiges d'ancrage existantes.

Le transfert d'une suspension à l'autre s'effectue en dix phases principales. Pour chacune d'entre elles, il convenait de quantifier les déplacements du tablier, des têtes de pylônes et des câbles porteurs, et de vérifier que les efforts étaient admissibles dans le tablier, les suspentes, les câbles, les selles en tête de pylônes et les sellettes d'inflexion dans les chambres d'ancrage.

Durant certaines phases de transfert, la structure est très souple, ce qui rend la convergence du calcul assez longue. De plus, le nombre de chargements est assez élevé. Pour limiter les temps de calcul, nous avons donc utilisé un modèle en deux dimensions, simulant la symétrie transversale de l'ouvrage.

■ Le modèle :

Le modèle en 2D comporte 490 nœuds et 659 éléments, dont 357 chaînettes modélisant les câbles et suspentes. Les deux câbles actuels sont modélisés par un câble unique (de section deux fois plus grande). Les quatre futurs câbles sont également modélisés par un seul câble. Il en est de même pour les suspentes.

La géométrie de référence de l'ouvrage est la géométrie théorique telle qu'elle a été définie lors de la construction du pont, et ceci afin que dans la future phase de service, les éléments existants de l'ouvrage (les pylônes et le tablier) ne soient pas sollicités différemment de ce qui avait été prévu lors de leur conception.

Néanmoins, une étude historique de l'ouvrage depuis sa construction jusqu'à nos jours nous a appris que le tablier présente actuellement, sous charge permanente, une flèche de 87 cm au niveau du nœud central par rapport à sa position théorique. Cette flèche s'explique en grande partie par un effet de fluage¹ des câbles au cours du temps. Nous savons que la nouvelle suspension n'échappera pas au même phénomène. Celui-ci sera plus faible que pour les câbles existants du fait du plus faible diamètre des torons élémentaires et de la plus grande longueur du pas de toronnage. La flèche du tablier due au "fluage" a été estimée à une trentaine de centimètres. A la fin des travaux, le tablier doit ainsi présenter, sous charge permanente, une contre-flèche de 30 cm par rapport au profil théorique d'origine.

Afin d'évaluer au mieux les déplacements et contraintes dans la structure lors du changement de suspension, il fallait tenir compte des déplacements et contraintes qu'il subit actuellement.

Les trois chargements suivants introduits dans le calcul permettent de retrouver la géométrie actuelle de la structure (flèche de 87 cm), ainsi que les déplacements horizontaux mesurés en tête des pylônes.

1. *Un allongement des câbles actuels de la travée centrale entraînant une flèche du tablier de 9 cm simule un défaut de réglage initial*
2. *Une dilatation de la suspension entraînant une flèche de 64 cm simule le "fluage" des câbles*
3. *Une dilatation des câbles situés entre l'ancrage et la sellette rive gauche entraînant une flèche de 14 cm simule un déplacement du massif d'ancrage rive gauche.*

1. Les spécialistes de ponts suspendus parlent conventionnellement de "fluage" des câbles mais il s'agit en réalité d'un allongement et d'une variation de module apparent liés à la mise en place des fils.

La "non-linéarité matériau" permet le calcul des structures en plasticité, la prise en compte de lois de fluage non linéaires... La non-linéarité géométrique (appelée couramment second ordre en Génie Civil) permet le calcul des structures très déformables.

En ce qui concerne le remplacement de la suspension du pont de Tancarville, la "non-linéarité matériau" n'a pas été retenue (excepté pour une étude de détail des tiges d'ancrage). Les barres modélisant les pylônes et le tablier, ont donc été définies classiquement, à l'aide de leur section, inertie et coordonnées du centre de torsion.

La suspension, quant à elle, a été modélisée par des éléments biarticulés de type chaînette (la section normale est leur seule caractéristique). Cet élément modélise au mieux les câbles et permet, en fonction des coordonnées de ses extrémités, de son poids linéique et de sa longueur à vide, de calculer les forces s'exerçant à ses extrémités.

L'utilisation du module NLI s'est avérée nécessaire pour le calcul d'un pont à câbles tel que celui de Tancarville. Un logiciel "classique" ne peut mener ce type de calcul car la matrice de rigidité qu'il génère est singulière (son déterminant est nul).

Un modèle 2D pour l'étude du transfert de charges

■ Le principe du transfert :

Le principe de la réparation est de remplacer chacun des câbles par deux câbles de plus petit diamètre (cf. fiche technique). Les deux nouveaux câbles seront situés de part et d'autre de l'ancien câble et viendront s'ancrer sur les tiges d'ancrage existantes.

Le transfert d'une suspension à l'autre s'effectue en dix phases principales. Pour chacune d'entre elles, il convenait de quantifier les déplacements du tablier, des têtes de pylônes et des câbles porteurs, et de vérifier que les efforts étaient admissibles dans le tablier, les suspentes, les câbles, les selles en tête de pylônes et les sellettes d'inflexion dans les chambres d'ancrage.

Durant certaines phases de transfert, la structure est très souple, ce qui rend la convergence du calcul assez longue. De plus, le nombre de chargements est assez élevé. Pour limiter les temps de calcul, nous avons donc utilisé un modèle en deux dimensions, simulant la symétrie transversale de l'ouvrage.

■ Le modèle :

Le modèle en 2D comporte 490 nœuds et 659 éléments, dont 357 chaînettes modélisant les câbles et suspentes. Les deux câbles actuels sont modélisés par un câble unique (de section deux fois plus grande). Les quatre futurs câbles sont également modélisés par un seul câble. Il en est de même pour les suspentes.

La géométrie de référence de l'ouvrage est la géométrie théorique telle qu'elle a été définie lors de la construction du pont, et ceci afin que dans la future phase de service, les éléments existants de l'ouvrage (les pylônes et le tablier) ne soient pas sollicités différemment de ce qui avait été prévu lors de leur conception.

Néanmoins, une étude historique de l'ouvrage depuis sa construction jusqu'à nos jours nous a appris que le tablier présente actuellement, sous charge permanente, une flèche de 87 cm au niveau du nœud central par rapport à sa position théorique. Cette flèche s'explique en grande partie par un effet de fluage¹ des câbles au cours du temps. Nous savons que la nouvelle suspension n'échappera pas au même phénomène. Celui-ci sera plus faible que pour les câbles existants du fait du plus faible diamètre des torons élémentaires et de la plus grande longueur du pas de toronnage. La flèche du tablier due au "fluage" a été estimée à une trentaine de centimètres. A la fin des travaux, le tablier doit ainsi présenter, sous charge permanente, une contre-flèche de 30 cm par rapport au profil théorique d'origine.

Afin d'évaluer au mieux les déplacements et contraintes dans la structure lors du changement de suspension, il fallait tenir compte des déplacements et contraintes qu'il subit actuellement.

Les trois chargements suivants introduits dans le calcul permettent de retrouver la géométrie actuelle de la structure (flèche de 87 cm), ainsi que les déplacements horizontaux mesurés en tête des pylônes.

1. *Un allongement des câbles actuels de la travée centrale entraînant une flèche du tablier de 9 cm simule un défaut de réglage initial*
2. *Une dilatation de la suspension entraînant une flèche de 64 cm simule le "fluage" des câbles*
3. *Une dilatation des câbles situés entre l'ancrage et la sellette rive gauche entraînant une flèche de 14 cm simule un déplacement du massif d'ancrage rive gauche.*

1. Les spécialistes de ponts suspendus parlent conventionnellement de "fluage" des câbles mais il s'agit en réalité d'un allongement et d'une variation de module apparent liés à la mise en place des fils.

■ Les étapes du transfert de charges

Etapes sur chantier	Simulation avec PCP	Illustrations - PCP
0 - Etat actuel.	1 - Modification des longueurs à vide des chaînettes de la travée centrale. 2 - Modification des longueurs à vide de toutes les chaînettes. 3 - Modification de la longueur à vide de la chaînette entre la sellette et l'ancrage rive gauche.	
1 - Mise en place des câbles nouveaux. (N.B. A leur longueur définitive)	Activation des chaînettes simulant les câbles nouveaux. Mise en tension de ces chaînettes par la donnée de leur longueur à vide.	
2 - Accrochage à tension nulle des nouvelles suspentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Activation des chaînettes modélisant les futures suspentes. • Incrément de charge sur le tablier pour tenir compte du poids des nouveaux colliers et étriers. 	
3 - Mise à longueur des suspentes rive gauche.	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en tension des chaînettes correspondantes par la donnée de leur longueur à vide. 	
4 - Mise à longueur des suspentes rive droite.	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en tension des chaînettes correspondantes par la donnée de leur longueur à vide. 	
5 - Mise à longueur d'une suspente sur deux dans la travée centrale. (N.B. celle-ci s'effectue en 9 sous-phases de mise en tension progressive)	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en tension des chaînettes correspondantes par la donnée de la tension au nœud supérieur de chaque chaînette. À chaque sous phase, on incrémente de 13 tonnes cette tension, jusqu'à ce que l'on atteigne la longueur à vide de toutes les suspentes. 	
6 - Mise à longueur des autres suspentes de la travée centrale.	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en tension des chaînettes correspondantes par la donnée de leur longueur à vide. 	
7 - Suppression des suspentes anciennes dans les travées latérales.	<ul style="list-style-type: none"> • Désactivation des chaînettes correspondantes. 	
8 - Suppression des suspentes anciennes dans la travée centrale. (N.B. celle-ci s'effectue en sous-phases qui correspondent à la suppression d'une suspente sur deux, et à la détension progressive des suspentes qui restent, exceptées les 2 suspentes de part et d'autre du nœud central)	<ul style="list-style-type: none"> • Désactivation des chaînettes correspondant à une suspente sur deux. • Détension des chaînettes anciennes restantes par incréments de 2t (excepté les 2 chaînettes de part et d'autre du nœud central). 	
9 - Suppression du nœud central et des deux suspentes de part et d'autre de celui-ci.	<ul style="list-style-type: none"> • Désactivation des barres rigides modélisant le nœud central. • Désincrément de charge sur le tablier simulant le retrait des anciens colliers et étriers. • Désactivation des chaînettes autour du nœud central. 	
10 - Suppression de l'ancien câble.	Désactivation des chaînettes.	

■ Les points forts de PCP

PCP-NLI offre une large palette de chargements sur les chaînettes. Il nous était possible de les tendre en imposant, au choix,

- une longueur à vide,
- une tension à l'origine de la chaînette (soit absolue, soit relative),
- une tension à l'extrémité de la chaînette (soit absolue, soit relative),
- une tension limite (à l'origine ou à l'extrémité),
- une déformation.

Les tensions ainsi imposées de la chaînette peuvent l'être soit sur la corde, soit sur sa tangente, soit sur sa projection sur l'un des axes du repère général.

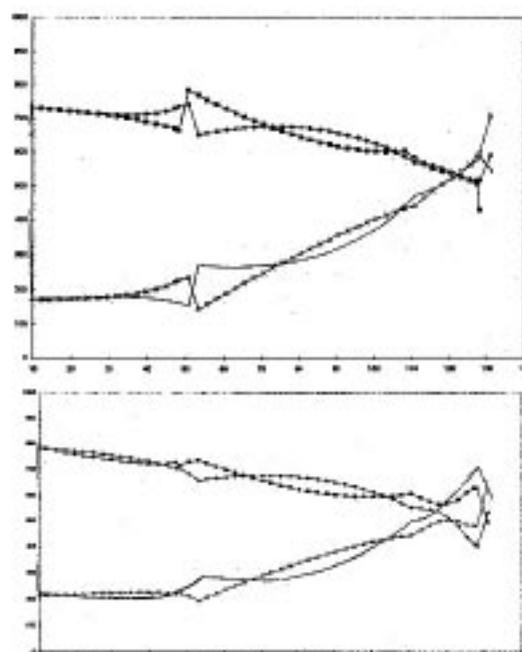
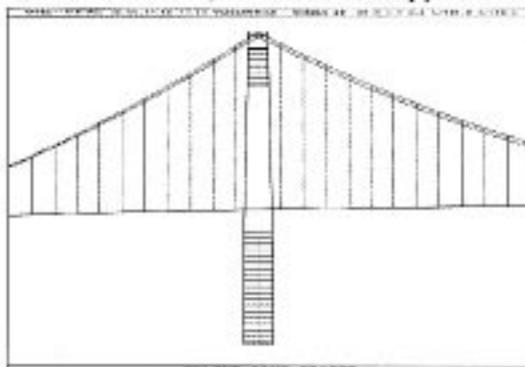
En outre, PCP-NLI possède une option graphique très intéressante. En effet pendant le calcul (itératif, puisque non linéaire), il est possible de visualiser les déplacements de la structure à chaque itération. Cette option n'a rien d'exceptionnel lorsque le calcul converge (cf. les illustrations du tableau de la page précédente). Par contre, lorsqu'il y a divergence de la structure, le graphisme permet de situer très facilement le problème. Ainsi, sur la figure ci-dessous, le déplacement inattendu du pylône est dû à une mauvaise mise en donnée des longueurs à vide du câble dans la travée de gauche.



Des modèles plus complexes pour des études spécifiques

■ Un modèle 2D/3D pour l'étude des pylônes

Les jambes de pylônes ne sont pas verticales, mais présentent une légère inclinaison transversale. De ce fait, il existe dans le pylône des



Contraintes dans le pylône RG, phase 1, modèle 2D

Contraintes dans le pylône RG, phase 1, modèle 2D/3D

moments transversaux non calculables sur le modèle 2D et qui modifient pourtant les contraintes de façon sensible. Il fallait donc modéliser les pylônes en 3D pour connaître avec précision les contraintes qu'ils subissent lors du transfert de charges. C'est pourquoi nous avons réalisé un modèle mixte 2D/3D, dans lequel les suspensions et le tablier étaient ceux du modèle 2D précédent, et où le pylône était modélisé en 3D.

■ Un modèle 3D pour l'étude du réglage fin de la suspension

Une modélisation complète en 3D a été mise au point. Elle est bien entendu beaucoup plus lourde que les deux précédentes, puisqu'elle comporte 1413 nœuds et 2050 éléments. C'est pourquoi il était préférable d'utiliser, tant que faire se pouvait, le modèle en 2D suffisant pour assurer la faisabilité et la maîtrise du transfert de charges.

Un modèle 3D était cependant indispensable pour l'étude du réglage fin de la suspension.

En effet, les nouvelles suspentes ne sont pas verticales, mais inclinées, puisque leur point d'attache sur le tablier n'est pas modifié, alors que les futurs câbles porteurs se trouvent de part et d'autre de l'ancien câble (cf. schéma transversal, page suivante).

De ce fait, l'écartement entre les deux câbles d'une même nappe dépend de la longueur des suspentes et de la tension dans la suspension. On maîtrise cet écartement (pour éviter les contacts entre les suspentes) en l'imposant aux dix paires de suspentes centrales (dites "spéciales")

Un exemple visible de divergence

Une vue du modèle 2D/3D

■ **Les points forts de PCP**

PCP-NLI offre une large palette de chargements sur les chaînettes. Il nous était possible de les tendre en imposant, au choix,

- une longueur à vide,
- une tension à l'origine de la chaînette (soit absolue, soit relative),
- une tension à l'extrémité de la chaînette (soit absolue, soit relative),
- une tension limite (à l'origine ou à l'extrémité),
- une déformation.

Les tensions ainsi imposées de la chaînette peuvent l'être soit sur la corde, soit sur sa tangente, soit sur sa projection sur l'un des axes du repère général.

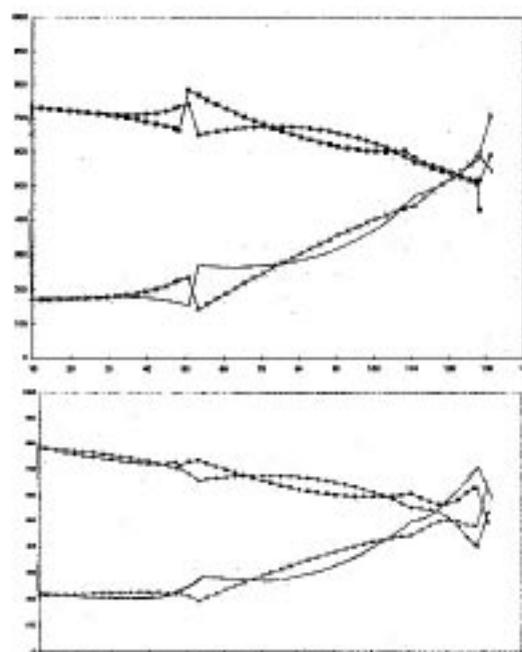
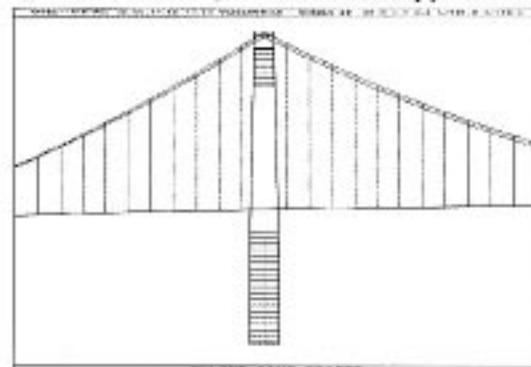
En outre, PCP-NLI possède une option graphique très intéressante. En effet pendant le calcul (itératif, puisque non linéaire), il est possible de visualiser les déplacements de la structure à chaque itération. Cette option n'a rien d'exceptionnel lorsque le calcul converge (cf. les illustrations du tableau de la page précédente). Par contre, lorsqu'il y a divergence de la structure, le graphisme permet de situer très facilement le problème. Ainsi, sur la figure ci-dessous, le déplacement inattendu du pylône est dû à une mauvaise mise en donnée des longueurs à vide du câble dans la travée de gauche.



Des modèles plus complexes pour des études spécifiques

■ **Un modèle 2D/3D pour l'étude des pylônes**

Les jambes de pylônes ne sont pas verticales, mais présentent une légère inclinaison transversale. De ce fait, il existe dans le pylône des



Contraintes dans le pylône RG, phase 1, modèle 2D

Contraintes dans le pylône RG, phase 1, modèle 2D/3D

moments transversaux non calculables sur le modèle 2D et qui modifient pourtant les contraintes de façon sensible. Il fallait donc modéliser les pylônes en 3D pour connaître avec précision les contraintes qu'ils subissent lors du transfert de charges. C'est pourquoi nous avons réalisé un modèle mixte 2D/3D, dans lequel les suspensions et le tablier étaient ceux du modèle 2D précédent, et où le pylône était modélisé en 3D.

■ **Un modèle 3D pour l'étude du réglage fin de la suspension**

Une modélisation complète en 3D a été mise au point. Elle est bien entendu beaucoup plus lourde que les deux précédentes, puisqu'elle comporte 1413 nœuds et 2050 éléments. C'est pourquoi il était préférable d'utiliser, tant que faire se pouvait, le modèle en 2D suffisant pour assurer la faisabilité et la maîtrise du transfert de charges.

Un modèle 3D était cependant indispensable pour l'étude du réglage fin de la suspension.

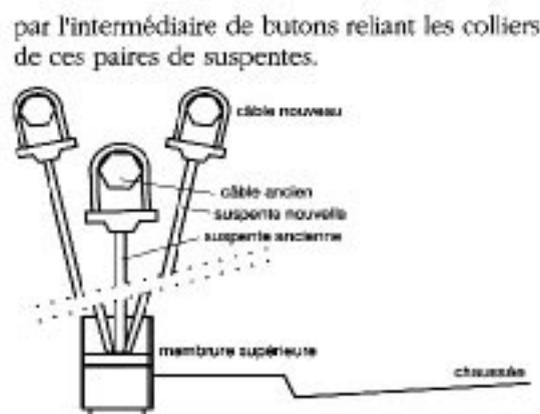
En effet, les nouvelles suspentes ne sont pas verticales, mais inclinées, puisque leur point d'attache sur le tablier n'est pas modifié, alors que les futurs câbles porteurs se trouvent de part et d'autre de l'ancien câble (cf. schéma transversal, page suivante).

De ce fait, l'écartement entre les deux câbles d'une même nappe dépend de la longueur des suspentes et de la tension dans la suspension. On maîtrise cet écartement (pour éviter les contacts entre les suspentes) en l'imposant aux dix paires de suspentes centrales (dites "spéciales")

Un exemple visible de divergence

Une vue du modèle 2D/3D

Schéma transversal des suspentes courantes



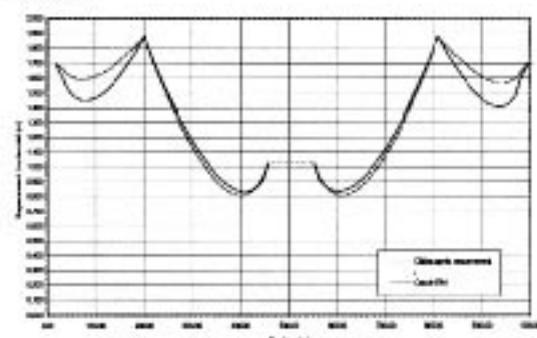
Vue longitudinale de la selle

Vue transversale de la tête de pylône

par l'intermédiaire de boutons reliant les colliers de ces paires de suspentes.

Le modèle 3D nous a permis de déterminer la longueur à imposer à ces boutons pour obtenir un écartement minimum de 80 cm entre les deux câbles d'une même nappe (cf. figure suivante), de déduire de cet écartement les longueurs à vide des suspentes en tenant compte de leur inclinaison, et enfin de connaître la force de compression s'exerçant dans les boutons.

Espacement des câbles



L'utilité du modèle est également de pouvoir prendre en compte les chargements dissymétriques (effet d'un changement ou d'une rupture de suspente sur les suspentes voisines).

Ce modèle reste à notre disposition pour suivre les phases de chantier (et les éventuelles dissymétries qui pourraient se produire à cette occasion).

Des points particuliers de modélisation

■ Les selles en tête de pylône

Pendant les phases de transfert de charges, les nouvelles selles sont déplaçables, de façon à diminuer les efforts dans la structure. Afin d'éviter les déplacements erratiques (dus au trafic, notamment) et dissymétriques, ces selles ne sont pas libres, mais à déplacement horizontal contrôlé par vérins.

Dans le calcul, les selles en tête de pylônes sont libres de se déplacer longitudinalement, ce qui permet de déterminer le déplacement relatif

entre le câble et la tête du pylône dans chaque phase de transfert. Sur chantier, avant chaque phase (voire sous-phase), on déplacera donc les selles de la valeur du déplacement calculée, puis on les bloquera dans cette position jusqu'au début de la phase suivante.

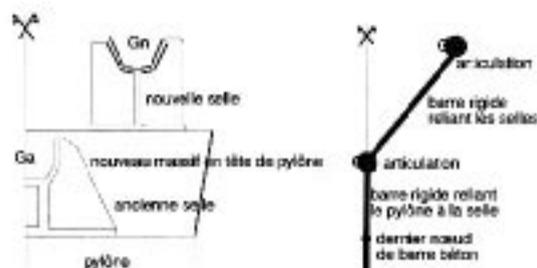
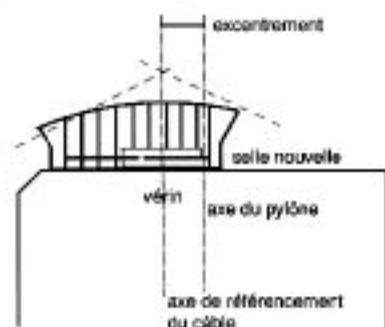


schéma de la tête de pylône modélisation PCP
G : point de référence de l'axe du câble (n : nouveau ; a : ancien)

D'un point de vue modélisation, les selles sont représentées par des articulations qui prennent en compte l'excentrement entre leurs deux extrémités, pour le calcul de la redistribution des efforts. Cette prise en compte est nécessaire car, suivant les phases, le déplacement relatif entre le câble et la tête du pylône est conséquent, et, conjugué à l'effort normal qu'induit le câble porteur dans le pylône, son effet (en moment longitudinal) n'est pas du tout négligeable.

■ Les bielles d'appui

Le tablier repose, au niveau des pylônes, sur des biellettes, car la réaction d'appui peut changer de signe. La biellette a été modélisée telle quelle, par un élément biarticulé, et non pas par un appui glissant. Ce modèle, plus complexe d'un point de vue numérique permettait d'être plus proche de la réalité, en particulier pour la direction de la réaction d'appui.

Les principaux résultats

Il nous paraît intéressant de donner ici quelques chiffres sur notre étude et sur l'ouvrage ainsi que quelques résultats concernant le logiciel lui-même.

■ **Les déplacements lors du transfert de charges :**

On remarque sur le tableau que les phases 5, 7 et 8 nécessitent un découpage en sous-phases (qui a été étudié par ailleurs), car elles provoquent des déplacements importants.

■ **Les difficultés de modélisation et de calcul :**

Un problème de défaut de convergence de l'algorithme général de résolution s'est parfois posé, pour différentes raisons :

- La raideur relative des appuis parfaits a nécessité un soin tout particulier quant au conditionnement de la matrice de rigidité. En effet, la structure étudiée contient des éléments dont la raideur est très grande (base de pylône encastree), ou très petite (selle libre en déplacement, suspente). La disparité des raideurs affecte la précision numérique du résultat de l'inversion du système.
- Les rotations des nœuds reliés exclusivement à des éléments biarticulés n'ont pas de signification physique : on peut éliminer les équations correspondant à ces degrés de liberté. En pratique, ces rotations sont bloquées afin d'éviter tout incident numérique.
- En tête des pylônes de grande hauteur, sur lesquels s'appuient les selles, libres de se déplacer longitudinalement, sont apparues des oscillations en déplacement. Il a fallu d'abord les détecter et enfin les traiter convenablement.

Par ailleurs, il s'est avéré que les résultats en déplacements étaient très sensibles au réglage initial de la suspension en terme de longueurs à vide des chaînettes : une modification extrêmement faible de la longueur à vide, d'une valeur très inférieure à la précision de chantier, modifie les flèches de façon significative. Par exemple, une variation relative de longueur de 0,001 % de la suspension (c'est à dire une variation de température de 1 °C) induit une variation de flèche en milieu de tablier de 2 cm!

Conclusion

Tous ces calculs ont montré une bonne convergence entre les résultats obtenus par l'entreprise avec le logiciel GP_3D et ceux du SETRA, ce qui nous a permis d'avaliser le principe de la réparation. Il faut rappeler que PCP-NLI ne disposait pas, au début de cette étude, de l'ergonomie nécessaire à une exploitation confortable. Cette ergonomie évoluera en 1998 avec d'une part l'adoption d'un nouveau module géométrique PH1 et d'autre part la mise au point d'une nouvelle Interface

PHASE	DEPLACEMENTS LORS DU TRANSFERT DE CHARGES (en m)				
	Moitié du tablier total	Déplacement vertical (en)			
N°		Pylône RD	Selle sur pylône RD	Pylône RG	Selle sur pylône RG
0	Etat actuel	-1,586	0,000	-0,207	0,000
1	Mise en place des câbles	-1,387	0,109	-0,178	-0,681
2	Mise en place des suspentes	-1,290	0,115	-0,588	-0,215
3	Mise à longueur des suspentes RG	-1,251	0,114	-0,588	-0,214
4	Mise à longueur des suspentes RD	-1,243	0,113	-0,597	-0,213
5	Mise à longueur des suspentes pylône TC	1,351	-0,170	0,021	-0,047
6	Mise à longueur des suspentes TC	0,396	-0,187	0,029	-0,052
7	Suppression des suspentes anclées TC	0,215	-0,107	-0,221	-0,174
8	Suppression des suspentes anclées TC	0,288	-0,044	-0,187	-0,094
9	Suppression du renard central	0,012	-0,261	0,254	0,184
10	Suppression de l'ancien câble	0,017	0,300	-0,004	0,006

N.B. Les déplacements des selles sur pylônes sont donnés en relatif par rapport à l'axe du pylône. Les déplacements sont comptés positivement de l'axe droit (RD) vers l'axe gauche (RG). Phase 0 et 10, les déplacements sont donnés sous charges de transfert et non en service. Les résultats sont issus du modèle 2D.

Homme-Machine utilisant des composants communs avec le logiciel ST1.

Par la suite, les fonctions de calcul de PCP, en plus du non linéaire statique, couvriront les domaines du calcul dynamique, du calcul au flambement ainsi que la prise en compte automatique des effets du vent.

E. WATTEBLED, F. ROBERT, P. CORFDIR, J.F. DERAIS

● **Les intervenants**

- ▲ Maître d'Ouvrage : C.C.I. du Havre
- ▲ Maître d'œuvre : DDE de Seine Maritime
- ▲ Entreprises : Dumas GTM - Eauville Chateaufort
- ▲ Bureau de contrôle : SETRA
- ▲ Etudes préalables : SEEE

● **Fiche technique**

● **Profil en long**

Thavus : 176,33 m - 607,922 m - 174,635 m
Rayons de courbure : 10000 m - 15400 m - 4500 m

● **Profil en travers**

Largeur entre axes de la suspension actuelle : 16 m

● **Suspension actuelle**

- ▲ Câbles : 2 câbles formés chacun de 56 torons en travée centrale et de 60 torons en travées de rive, 1 toron étant formé de 169 fils ø 4,7 mm
Résistance à la rupture : 1500 MPa
Module d'élasticité de calcul : 170000 MPa
- ▲ Suspentes : 3 nappes de suspentes, chaque suspente étant formée de 260 fils ø 4,7 mm toronnés sur un fil ø 5,8 mm.
Résistance à la rupture : 1500 MPa.
Module d'élasticité de calcul : 170000 MPa.

● **Suspension future**

- ▲ Câbles : 2 x 2 câbles formés chacun de 90 torons, 1 toron étant formé de 37 fils ø 5,54 mm (hors galvanisation)
Résistance à la rupture : 1660 MPa (coef. de perte 0,95)
Module d'élasticité de calcul : 170000 MPa
Continuité maximale d'un câble en service = 500 MPa
- ▲ Suspentes : 2 x 2 nappes de suspentes, chaque suspente ayant une section de 2133 mm²
Module d'élasticité de calcul : 155000 MPa
Résistance à la rupture : 1660 MPa (coef. de perte 0,9)
contrainte maximale d'une suspente à l'ELS = 280 MPa

WATTEBLED

Elisabeth
I.T.P.E. - SETRA - CTQA
Division Grands Ouvrages
Tél. : 01 45 11 35 15

ROBERT Florent

I.T.P.E. - SETRA - CTQA
Division Méthodologie et Logiciels
Tél. : 01 45 11 33 95

CORFDIR Pierre

I.T.P.E. - SETRA - CTQA
Division Grands Ouvrages
Tél. : 01 45 11 32 36

DERAIS

Jean-François
C.S.T.P.E. - SETRA - CTQA
Division Grands Ouvrages
Tél. : 01 45 11 32 50

Méthode rapide d'évaluation des réactions d'appui sous composante verticale du séisme

Introduction

Depuis l'arrêté du 15 septembre 1995 [AR 95], les règles de construction à appliquer aux ponts nouveaux définitifs doivent être conformes au guide AFPS92 [AF 92] ou au document d'application national de l'Eurocode 8. Ce dernier n'étant pas encore paru, le guide AFPS92 reste donc la seule référence réglementaire disponible pour le concepteur. Ce texte est récent et présente encore quelques difficultés d'interprétation et d'utilisation pour l'ingénieur. C'est le cas de la composante verticale du séisme. Elle doit obligatoirement être prise en compte lorsque l'on emploie la méthode générale. Par contre, aucun calcul n'est demandé si l'on utilise la méthode simplifiée. L'effet du séisme vertical est pourtant très important pour certaines vérifications, comme, par exemple, la résistance des appareils d'appui et le ferrailage des piles. L'utilisation d'une méthode de combinaison spectrale n'étant

pas à l'échelle des études des ouvrages courants, une méthode simplifiée permettant d'évaluer les réactions d'appui présente un intérêt réel.

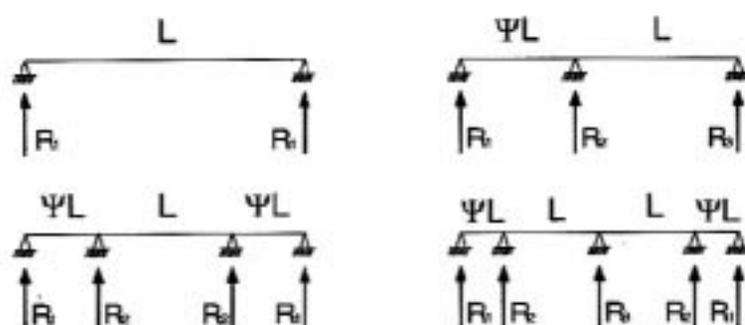
Méthode simplifiée

Un traitement complet de la composante verticale du séisme est exposé dans un article à paraître dans la revue française de génie civil [LT 97]. Une méthode simplifiée du calcul des réactions d'appui y est proposée. Fondée sur la dynamique des poutres continues, elle est en très bonne concordance avec les résultats obtenus à l'aide de méthodes plus sophistiquées. Pour les cas les plus courants (figure 1), les réactions d'appui R_i sont calculées simplement à l'aide de la relation suivante :

$$R_i = ab\mu L$$

où L est la longueur de la travée principale, et μ est la masse linéique du tablier comprenant les équipements.

figure 1 : Réactions d'appui pour différents types de pont



Le paramètre a caractérise l'accélération du sol en fonction de la classe de l'ouvrage, de la zone sismique et de la géologie du site du projet :

$$a = 0.7 a_N R_{max}$$

où a_N est l'accélération nominale ; R_{max} correspond au plateau du spectre élastique normalisé. Les valeurs de a sont données ci-dessous pour chaque site, pour chaque zone

sismique et pour chaque classe d'ouvrage définis par le guide AFPS92 [AF 92].

Le paramètre b quantifie la réaction d'appui pour un ouvrage « normalisé » : travée centrale, masse linéique et spectre unitaires ($L = 1$, $\mu = 1$, $R(T) = 1$ pour toute période T). Les valeurs obtenues sont présentées page suivante pour différents types d'ouvrages (figure 1).

Zone sismique	IA			IB			II			III		
	B	C	D	B	C	D	B	C	D	B	C	D
Site S0	1,75	2,63	3,50	2,63	3,50	4,38	4,38	5,25	6,13	6,13	7,00	7,88
Site S1	1,75	2,63	3,50	2,63	3,50	4,38	4,38	5,25	6,13	6,13	7,00	7,88
Site S2	1,58	2,36	3,15	2,36	3,15	3,94	3,94	4,73	5,51	5,51	6,30	7,09
Site S3	1,40	2,10	2,80	2,10	2,80	3,50	3,50	4,20	4,90	4,90	5,60	6,30

1 travée b = 0,41	2 travées				3 travées			4 travées			
	Ψ	R_1	R_2	R_3	Ψ	R_1	R_2	Ψ	R_1	R_2	R_3
	0,5	0,22	0,57	0,33	0,5	0,22	0,45	0,5	0,19	0,38	0,71
	0,6	0,24	0,49	0,31	0,6	0,24	0,48	0,6	0,25	0,42	0,62
	0,7	0,29	0,52	0,28	0,7	0,26	0,58	0,7	0,29	0,57	0,54
	0,8	0,33	0,53	0,25	0,8	0,26	0,69	0,8	0,27	0,70	0,64
	0,9	0,34	0,78	0,25	0,9	0,24	0,75	0,9	0,22	0,69	0,82
	1,0	0,31	0,99	0,31	1,0	0,25	0,75	1,0	0,24	0,84	0,90

Exemple

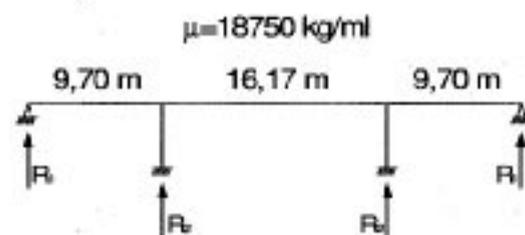
Considérons un pont dalle à 3 travées situé en zone II et sur un site pouvant être classé S2. L'ouvrage est d'importance normale (classe C). Ses caractéristiques géométriques sont reportées à la figure 2. On en déduit un rapport de travée de 0,6. Alors, les réactions d'appui dues à la composante verticale du séisme sont :

$$R_1 = \pm 4,73 \times 0,24 \times 0,01875 \times 16,17 = \pm 0,344 \text{ MN}$$

et

$$R_2 = \pm 4,73 \times 0,48 \times 0,01875 \times 16,17 = \pm 0,689 \text{ MN}$$

On vérifiera les appareils d'appui et les piles en cumulant ces valeurs avec les réactions d'appui sous charges permanentes et en combinaison avec les actions du séisme horizontal. Il conviendra de prendre ces réactions d'appui vers le haut et vers le bas afin de tenir compte aussi bien de la phase ascendante que de la phase descendante du séisme.



Conclusion

La méthode présentée permet d'évaluer simplement les réactions d'appui sous séisme pour certains types d'ouvrage. La plupart des cas courants peuvent être traités avec les tableaux proposés en procédant de la manière suivante :

- entre deux rapports de travée il est conseillé de prendre la valeur la plus défavorable des deux rapports les plus proches car une interpolation linéaire n'est pas toujours conservatrice.

- pour les ouvrages à cinq travées et plus, on pourra prendre les valeurs du 4 travées. Les réactions sur les piles intermédiaires supplémentaires seront égales à la réaction R_2 . On majorera les résultats obtenus par un coefficient 1,1 afin d'assurer une sécurité suffisante.

Enfin, cette méthode n'est applicable qu'aux ponts à faible courbure et à biais modéré (biais > 80 gr) ; une réflexion est en cours au SETRA pour proposer des modifications adéquates pour les ouvrages qui sortent de ce cadre.

F. LÉGERON, R. TARDY,
P. CORFDIR, A. CHABERT ■

■ Bibliographie

- [AR 95] Arrêté du 15 septembre 1995, relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la catégorie dite « à risque normal », *Journal Officiel*, Paris, France, 1995.
- [AF 92] Guide AFPS 92 pour la conception parasismique des ponts, association française de génie parasismique, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 81 p., 1995.
- [EC 94] Eurocode 8, conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes, ENV 1998-1-1, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, 1994.
- [LT 97] LÉGERON F, TARDY R, CORFDIR P et CHABERT A. « Prise en compte du séisme vertical sur les ponts courants, » *Revue française de génie civil, soumis pour publication dans le Volume 1 (4)*

Paramètre b

Figure 2. Exemple d'ouvrage à 3 travées

LÉGERON Frédéric
I.T.P.E. - SETRA - CTOA
Division Grands Ouvrages
Tél : 01 45 11 35 66

TARDY Rémi
C.S.T.P.E. - SETRA - CTOA
Division Grands Ouvrages
Tél : 01 45 11 32 52

CORFDIR Pierre
I.T.P.E. - SETRA - CTOA
Division Grands Ouvrages
Tél : 01 45 11 32 36

CHABERT Alain
I.P.C. - CETE de Lyon
Responsable de la Division
Ouvrages d'Art
Tél : 04 74 27 53 81

Recommandations provisoires relatives à la modification des règles de prise en compte de la fissuration et à l'emploi des bétons à hautes performances

Les règles de conception et de calcul des ouvrages, reflétant les progrès constants de nos connaissances dans le domaine des matériaux et des structures, sont amenées à évoluer régulièrement.

Avec l'édition de 1991 des Règles BAEL et BPEL, dont le principal objet était d'élargir leur champ d'application à des bétons de résistance caractéristique atteignant 60 MPa, la commission assurant le suivi de ces Règles a souhaité encourager l'emploi du béton de résistance élevée en raison de sa plus grande compacité et de la meilleure protection ainsi offerte aux armatures vis-à-vis de la corrosion. Pour cela, elle a introduit la valeur de la résistance du béton dans les limites de contraintes des aciers, les valeurs de 150 h et 110 h devenant respectivement $110\sqrt{\eta f_{ct}}$ et $90\sqrt{\eta f_{ct}}$ pour les cas de fissuration préjudiciable et très préjudiciable, f_{ct} désignant la résistance caractéristique du béton en traction.

Quant à l'extension des Règles de 1983 jusqu'à 60 MPa de résistance caractéristique, elle fut obtenue sans modification des formules existantes, par une extrapolation acceptable, mais au prix d'une approximation croissante avec la résistance empêchant tout raccordement avec des résistances supérieures.

La mise en application des Règles BAEL-BPEL montra que les nouvelles formules relatives à la fissuration conduisaient à des quantités d'acier prohibitives avec les bétons courants de l'industrie du bâtiment, notamment dans le cas de fissuration très préjudiciable.

D'autre part, les dernières années ont vu le développement de bétons de plus en plus résistants, jusqu'à 80 MPa ou davantage. Mais on s'aperçut qu'il fallait remettre en cause les formules des Règles BPEL concernant les déformations différées du béton par retrait et

fluage dans le cas des bétons de résistance élevée.

Un groupe de travail de l'AFREM prépara de nouvelles propositions basées sur un examen approfondi des règlements étrangers, sur les résultats d'essais conduits en laboratoire et sur l'observation du comportement d'ouvrages réels. Ces propositions, concernant les bétons de résistance caractéristique comprise entre 40 et 80 MPa, présentaient le double avantage d'élargir la gamme des résistances du béton armé ou précontraint et de refléter de manière plus exacte le comportement du béton de résistance supérieure ou égale à 40 MPa.

La commission BAEL-BPEL examina l'ensemble des problèmes posés par les Règles de 1991 et décida de préparer des règles alternatives dans la gamme de résistance 40 à 80 MPa de façon à rétablir la continuité des propriétés mécaniques des bétons en fonction de leur résistance à la compression. D'autre part, elle saisit cette occasion pour améliorer la règle A.4.5.3 du BAEL relative à la limitation de la fissuration en cas d'emploi de béton courant aussi bien que de béton à haute résistance.

Ces règles seront publiées sous la forme de nouvelles annexes aux règles BAEL et BPEL actuelles, mais, en attendant leur publication officielle et la modification relative à la limitation de la fissuration, il a été décidé d'éditer les textes en question sous forme de recommandations provisoires pour offrir aux maîtres d'ouvrages un document contractualisable dans les marchés publics de travaux selon des conditions d'emploi qui sont précisées dans la préface. L'édition et la diffusion sont assurées par le SETRA.

J.A. CALGARO ■

Nouvelle rédaction de l'article concernant LA FISSURATION

■ **A.4.5.3. - État limite d'ouverture des fissures.**

Dans les sous-articles A.4.5.33 et A.4.5.34 remplacer les limites de contraintes de traction dans les armatures par les limites suivantes :

- La plus grande des deux valeurs 240 et $110\sqrt{\eta f_{ct}}$ (Mpa), dans le cas où la fissuration est considérée comme préjudiciable.
- et la plus grande des deux valeurs 200 et $90\sqrt{\eta f_{ct}}$ (Mpa), dans le cas où la fissuration est considérée comme très préjudiciable.

Présentation du guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrage d'art

La construction d'un ouvrage d'art est décidée par le maître de l'ouvrage, qui en définit le programme. Le maître d'oeuvre général a pour mission d'apporter une réponse architecturale, technique et économique à ce programme.

Mais le maître d'oeuvre général doit s'entourer d'une équipe multidisciplinaire, car la conception d'un ouvrage d'art fait appel à des compétences très diverses : ingénieur de structures, architecte, géotechnicien, hydrologue...

L'objectif de ce guide est de donner des éléments au maître d'oeuvre général pour lui faciliter son travail, dans la perspective de la circulaire sur la qualité de la route de 1992. Son sommaire est le suivant :

1. *Présentation générale*
2. *Nature et mode de dévolution des marchés d'études confiés à des prestataires extérieurs*
3. *Description du rôle du maître d'oeuvre général en phase de conception*
4. *Éléments du plan d'assurance de la qualité du maître d'oeuvre général en phase de conception*
5. *Le programme de l'ouvrage*
6. *Le pilotage de l'opération*

7. *Le contrôle des études confiées à l'extérieur*
8. *La consultation et le choix des bureaux d'études*
9. *Éléments du Règlement de la Consultation*
10. *La commande d'une étude préliminaire*
11. *La commande d'une étude de projet d'ouvrage d'art et d'assistance à l'établissement du D.C.E*
12. *La commande d'un contrôle d'étude d'exécution*
13. *Les études spécifiques*
 - *le contrat d'études hydrauliques*
 - *le contrat d'études géotechniques*
 - *le contrat d'assistance architecturale*
 - *le contrat du Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé*

Ce guide a été rédigé par différents ingénieurs du réseau technique de l'équipement, assistés des conseils avisés de leurs collègues en DDE.

Nous espérons qu'il atteindra son objectif, qui est de contribuer à une meilleure définition des rôles et responsabilités de chacun, pour le bénéfice de tous et l'amélioration de la qualité finale des études.

T. KRETZ ■

KRETZ Thierry
I.C.P.C. - SETRA - CTOA
Adjoint au chef de la Division
Grands Ouvrages
Tél : 01 46 11 32 40



Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion

Protection des structures métalliques

Présentation de la nouvelle Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion

1. LES ORIGINES DE L'ACQPA

Besoin de réglementation

La protection anticorrosion des ouvrages d'art et des structures des bâtiments métalliques a toujours été réalisée en France avec des produits de haut niveau de performances afin d'assurer la durabilité la plus longue et diminuer ainsi le nombre et le coût des cycles d'entretien.

Si les normes d'essais ou de composition de matières premières ont toujours existé (AFNOR ou ISO), on ne trouvait pas en France de normes de spécifications donnant à un maître d'œuvre des indications sur le choix d'un système de protection pour un ouvrage dans une ambiance donnée.

Le Ministère de l'Équipement a depuis 1970 cherché à codifier les protections des grands ouvrages métalliques, ponts ou portes d'écluses, afin d'obtenir les meilleures performances des systèmes de peinture en place.

Le point de départ a été l'agrément de systèmes de peintures sur acier décapé avec des spécifications de performances concrétisées par une durée de garantie contractuelle unique de la protection quelle que soit l'ambiance dans laquelle se situe l'ouvrage.

Une commission d'agrément Ponts-et-Chaussées validait des résultats d'essais de laboratoire ce qui évitait pour chaque nouvel ouvrage des essais de laboratoire lourds et coûteux.

Le fascicule n° 56 du C.C.T.G.

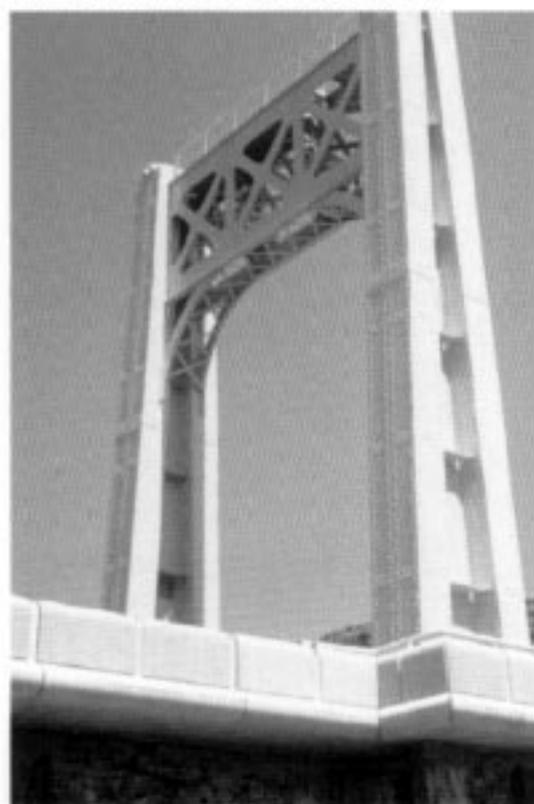
La publication en 1986 du fascicule n° 56 du C.C.T.G. - Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion - a constitué le vrai départ de la politique de qualité du Ministère de l'Équipement dans le domaine de la protection anticorrosion des ouvrages métalliques.

Ce fascicule en s'intéressant à la mise en peinture de l'acier décapé, de l'acier métallisé ou de l'acier galvanisé a vu son application

dépasser de très loin le champ d'action du Ministère de l'Équipement, beaucoup de donneurs d'ordre publics ou privés l'utilisant pour établir leurs marchés.

La Commission Interministérielle d'Homologation (C.I.H.)

La C.I.H., instituée par le fascicule n° 56, a géré depuis 1987 l'homologation des systèmes de protection correspondant à des usages parfaitement définis. Malgré la présence d'autres cahiers des charges de donneurs d'ordre publics (EDF, SNCF, Marine Nationale, ...), la C.I.H. est devenue très vite la référence en matière d'anticorrosion longue durée.



Le fonctionnement de la C.I.H. était assuré par le paiement de frais d'essai et de contrôle par les fabricants de peinture et par la mise à disposition de personnels du Laboratoire Central

des Ponts-et-Chaussées. Le SETRA était également très présent dans la C.I.H. et dans tous les groupes de travail gravitant autour de cette commission.

Tous les deux ans environ, une circulaire d'homologation regroupant une centaine de systèmes de protection par peinture était largement diffusée et comportait des éléments techniques utiles pour le choix du système et aussi pour la réalisation des travaux d'application.

Précisons qu'il s'agissait d'une homologation avec contrôle, c'est-à-dire avec essais préalables et ensuite suivi de la qualité chez les producteurs par audits réguliers, prélèvements, analyses de produits et examens des procédures d'assurance qualité.

Les Laboratoires Régionaux des Ponts-et-Chaussées assuraient la réalisation des essais d'homologation (LRPC LYON) et des visites d'audits (LRPC AIX, AUTUN, BLOIS, TRAPPES et St-QUENTIN) avec également les D.O.A. et les services, l'ensemble des prestations allant du choix des solutions aux contrôles d'application.

L'évolution européenne et le nouveau rôle de l'État

Dès 1993, les différents acteurs de l'anticorrosion ont senti la nécessité d'une organisation nouvelle pour faire converger tous les pro-

blèmes posés par la protection anticorrosion des structures métalliques. En effet, la C.I.H. restait une commission fonctionnant sous l'égide de l'État, ses travaux bien que reconnus, étaient réalisés dans le cadre d'un C.C.T.G. et non de normes, ce qui pouvait poser des problèmes dans le cadre du grand marché européen.

De plus les entreprises qui effectuent tous les travaux d'application des peintures étaient peu présentes. Dans le même temps, le C.F.N. confiait à F.I.S.O. dans le cadre des accords de Vienne, le soin d'élaborer des normes sur les spécifications de protection anticorrosion.

D'ailleurs, d'autres commissions ministérielles ou interministérielles avaient entamé le même type de réflexion et abouti à la création d'associations dites de "tierce partie". L'A.F.C.A.B. (Association Française pour la Certification des Armatures en Béton), mais surtout l'A.S.Q.U.E.R. (Association pour la Qualification des Equipements Routiers) ont servi d'exemples dans la démarche.

De l'avis de tous il fallait conserver les acquis de la C.I.H. en matière d'homologation des systèmes de peinture mais profiter du nouveau rôle de l'État et des modifications fondamentales de la normalisation pour créer un organisme certificateur impartial, compétent et indépendant fonctionnant sur le principe de la tierce partie.

2 - LES PRINCIPES FONDATEURS DE L'ACQPA

La création de l'ACQPA, structure équilibrée et représentative des acteurs du marché

Les premières réflexions, contexte historique oblige, tournèrent autour de la certification des produits et des systèmes de peinture. Mais il apparut très rapidement et très logiquement que la création de cette nouvelle structure était l'occasion d'élargir le domaine de la certification aux hommes appliquant les produits et inspectant les travaux.

L'idée n'était pas originale et traînait même depuis longtemps dans le milieu professionnel, elle correspond d'ailleurs à une logique incontestable : « quelle est l'utilité d'une certification de produits si les hommes qui les appliquent ne sont pas qualifiés ? ».

Néanmoins, si le passage de l'homologation des systèmes de peinture par la C.I.H. à la certification par une association de tierce partie relevait de la « réforme ». Il n'était pas douteux que la certification des peintres et des inspecteurs révolutionnerait le milieu professionnel.



C'est donc dans cet esprit que fut créée l'ACQPA (Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion), point de convergence de tous les problèmes posés par l'anticorrosion des structures métalliques, point de rencontre de tous les acteurs du marché et organisme de certification dit de « tierce partie » conforme aux normes NF EN 45011 et NF EN 45013.

Ces deux normes décrivent les critères généraux que doivent respecter les organismes de certification de produit (45011) ou de personnel (45013) pour être reconnus au niveau national et européen comme compétents et fiables. En tête de ces critères viennent l'impartialité et la représentation, au sein du comité de direction, de tous les intérêts engagés dans le processus de certification, sans prédominance d'un seul intérêt. C'est le principe dit de « tierce partie » sur lequel l'ACQPA est fondé.



L'ACQPA est donc une association type loi de 1901, enregistrée à la préfecture de police de Paris le 27 juin 1994 sous le numéro 94/2648 (Journaux officiels du 20 juillet 1994, référence 1424) dont le siège social est au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 58 boulevard Lefebvre, 75732 Paris Cedex 15.

Ses membres sont répartis en quatre collèges :

- *collège A* : collège des « clients », utilisateurs et prescripteurs
- *collège B* : collège des « fournisseurs », producteurs de peinture
- *collège C* : collège des « fournisseurs », entreprises d'application
- *collège D* : centres techniques

Toutes les instances délibératives de l'ACQPA, l'assemblée générale, le conseil d'administration, les différents comités de certification respectent le principe de la tierce partie par l'équilibre des voix entre le collège des clients et ceux des fournisseurs :

voix du collège A = voix des collèges B + C. Le collège D ne vote pas, mais dans une telle structure équilibrée, son avis peut peser très lourd. La qualité des membres fondateurs montre à elle seule l'ambition de l'ACQPA :

■ *collège A*

- *Ministère de l'Équipement*
- *Ministère de la Défense*
- *Syndicat de la Construction Métallique de France*
- *EDF*
- *SNCF*
- *ELF*

■ *collège B*

Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs (Groupement Anticorrosion de la FIPEC regroupant lui-même une trentaine de producteurs de peinture)

■ *collège C*

Groupement National Technique des Entrepreneurs de Peinture Industrielle (GEPI) regroupant plus de cent sociétés

■ *collège D*

BNPV (Bureau de Normalisation des Peintures et Vernis) - CEBTP - CEFACOR (Centre Français de l'Anticorrosion) - LCPC - ONHGIPI (Office National d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle).

Depuis sa création, des grands donneurs d'ordre (comme Eurotunnel) et plusieurs sociétés d'inspection ont rejoint l'ACQPA.

Les objectifs de l'ACQPA : promouvoir le domaine en garantissant (certifiant) la qualité

Nous l'avons vu, dès sa création, l'ACQPA s'est donné des objectifs ambitieux en inscrivant dans ses statuts la certification :

- *des produits et systèmes de peinture anticorrosion de haute durabilité.*
- *des personnels intervenant dans la réalisation et la supervision directe des travaux de mise en oeuvre des systèmes de peinture certifiés.*
- *des personnels inspectant ces travaux.*

En tant que lieu représentatif et fédérateur d'une profession, l'ACQPA s'est également donnée les missions suivantes :

- en liaison avec l'AFNOR / BNPV, apporter sa contribution aux travaux de normalisation d'origine française, européenne ou internationale
- assurer les contacts et relations avec les instances et organismes étrangers ayant un objet similaire.
- assurer les fonctions de conseil technique, d'information et de formation liés à ce domaine.

Moyens et organisation de l'ACQPA

Comme toute association, l'ACQPA est dirigée par une assemblée générale et un conseil d'administration (CA). Dans chaque domaine de certification, un comité traite les demandes de certification et en assure le suivi.

Comme nous l'avons déjà vu, les différents collèges de l'ACQPA sont tous représentés dans ces différentes instances d'une façon équilibrée afin de respecter le principe de la tierce partie.



La première assemblée générale de l'ACQPA s'est réunie le 19/12/94 et a élu comme Président Monsieur André Boileau, IGPC au CGPC et, à l'époque, également Président de la CIH, ce qui montre bien la filiation d'origine de l'ACQPA. Il anime un bureau et est assisté pour cela de trois vice-présidents (les 4 collèges sont ainsi représentés) et d'un trésorier. Le secrétariat général (composé d'un secrétaire général et de deux secrétaires généraux adjoints) est assuré par le LCPC et participe aux réunions du bureau.

En tant que de besoin, des commissions techniques, temporaires ou permanentes, peuvent être créées, sur approbation du CA, pour étudier tel ou tel problème. On peut citer par exemple :

- la commission « autres référentiels » du comité « produits », chargée d'élaborer les référentiels de certification pour les systèmes « C5M » (offshore) et pour les intérieurs de capacités.
- la commission « certification des opérateurs » chargée d'élaborer le référentiel de certification des peintres (qui a été dissoute pour laisser la place au comité de certification une fois le référentiel au point).
- la commission « certification des inspecteurs » qui vient d'être constituée et qui est chargée, elle aussi, d'élaborer le référentiel de certification du domaine en question.
- la commission technique permanente du comité « produits » chargée des améliorations et des mises à jour du référentiel...

Chaque comité de certification travaille par rapport à un référentiel composé de normes et d'un règlement. Le principe est de « normaliser » chaque fois que possible. Nous verrons au chapitre suivant que plusieurs normes, élaborées par des commissions de l'ACQPA ont subi (ou vont subir) l'approbation parallèle du conseil d'administration et de la commission ad'hoc du BNPV puis l'enquête probatoire menée par l'AFNOR.

Le financement de l'ACQPA est assuré par :

1. Les droits perçus à l'occasion de la mise en oeuvre de la certification.
2. Les cotisations des membres
3. Les subventions

Il est inscrit dans les statuts que l'équilibre de fonctionnement doit être recherché à partir des droits perçus à l'occasion de la certification. L'ACQPA est reconnu comme organisme certificateur par le SQUALPI (Service de la direction générale des stratégies industrielles du Ministère de l'Industrie) et a demandé que son organisation et son système d'assurance qualité soient audités par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation), seul organisme français habilité à procéder à ce genre d'audit. Cet audit devrait intervenir dans le 2ème semestre 1997. Il portera sur l'ensemble des activités de certification de l'ACQPA, celles concernant les produits (NF EN 45011) et celles concernant les personnels (NF EN 45013).

L'accréditation de l'activité certificatrice de l'ACQPA par le COFRAC est nécessaire d'une part pour garantir l'indépendance et l'impartialité de l'ACQPA mais également pour que cette activité puisse être reconnue au niveau européen. En effet, le COFRAC est l'instance nationale et unique permettant la reconnais-

sance mutuelle de l'activité de certification entre organismes de pays étrangers.

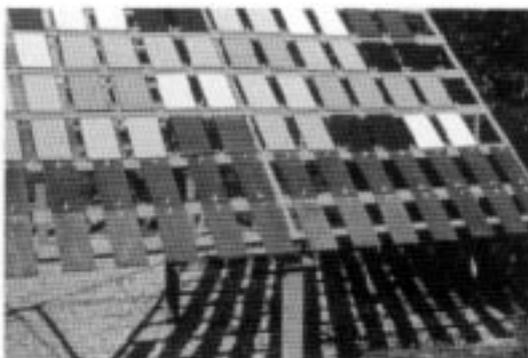
Avant de passer aux détails sur l'avancement des travaux de chaque comité, il faut préciser que la marque « ACQPA » a été déposée à

l'INPI le 30 juin 1995. Cette marque est donc maintenant protégée et sera apposée sur les produits et les services pour lesquels le droit d'usage aura été accordé.

3 - LES TRAVAUX ACTUELS DE L'ACQPA

3.1 - La certification des produits et des systèmes

■ **Généralités.** L'ACQPA s'est fixée comme but la certification de produits et de systèmes de peinture correspondant à des protections de haute durabilité, c'est-à-dire liées à la classe « haute durabilité » de la norme NF EN ISO 12944.1.



Cette certification se répartit aujourd'hui selon trois grands référentiels :

- les produits et systèmes de peinture anticorrosion appliqués sur support acier, acier métallisé ou acier galvanisé et destinés à la protection des ouvrages métalliques : ouvrages d'art, structures extérieures de bâtiment, ...
- les produits et systèmes de peinture de protection des surfaces intérieures de réservoirs et capacités en acier contenant des liquides ;
- les produits et systèmes de peinture de protection des plates-formes offshore.

■ **Durabilité et garantie.** Ces deux notions essentielles ne doivent pas être confondues, même si elles sont complémentaires.

- La durabilité est une notion technique qui peut aider le maître d'ouvrage à établir un programme d'entretien de son ouvrage. Encore faut-il s'entendre sur les critères pris en compte dans les exigences de durabilité.

Ainsi selon que l'on va privilégier la tenue d'une couleur de finition d'un système de

peinture ou l'apparition des premiers points de corrosion, la durée écoulée avant le premier entretien ne sera pas du tout la même.

Quand la norme NF EN ISO 12944.1 donne pour la haute durabilité une durée supérieure à 15 ans, il s'agit seulement de l'aspect anticorrosion.

- La garantie est une notion juridique qui fait l'objet de dispositions précises dans la partie administrative d'un contrat. La durée de garantie est généralement plus courte que la durabilité, mais il n'existe pas de règle simple pouvant les corréler, en raison du nombre trop important de paramètres entrant en compte.

L'ACQPA, en certifiant des systèmes de peinture, donne au maître d'ouvrage la possibilité d'une certaine durabilité dès lors que tous les paramètres d'application et de préparation de surface sont respectés et que le système retenu est une bonne adéquation entre sa classe de certification et les conditions de service de l'ouvrage. Par contre la garantie telle que décrite dans le fascicule n° 56 du CCTG « Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion » est rendue contractuelle par le marché de l'ouvrage, mais ne découle pas du fait de l'utilisation d'un système certifié par l'ACQPA.

Précisons le rôle de l'Office National d'Homologation des Garanties de Peintures Industrielles (ONHGPI) : il s'agit d'un office professionnel, dépendant des fabricants et des entreprises d'application, qui valide les garanties anticorrosion et d'aspect par ouvrage dès lors que l'entreprise d'application et le fabricant sont adhérents de l'office.

Bien évidemment le choix d'un système certifié permet à l'ONHGPI une bonne connaissance des peintures et de ce fait il valide une durée de garantie anticorrosion longue comme l'exige le fascicule n° 56. Cette validation fait intervenir le type d'ouvrage mais aussi le mode de préparation de surface retenu, ce

Chevalet utilisé pour les essais de vieillissement naturel avec mesure de la corrosivité de site

qui peut expliquer pour des ouvrages en entretien des divergences de durée de garantie entre les exigences du fascicule n° 56 et la réalité du marché. En tout état de cause, c'est le marché signé qui prime et qui impose la durée de garantie retenue pour les travaux de protection.

■ **Systèmes de peinture anticorrosion pour structures métalliques**

Le référentiel ACQPA comprend un règlement particulier de certification se référant à quatre normes NFT 34550 à 553 qui sont elles mêmes en concordance avec la norme ISO 12944 (parties 1 à 8) - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture -, notamment pour les types d'environnement et les catégories de corrosivité. Ce référentiel reprend en fait les travaux couverts par l'ancienne Commission Interministérielle d'Homologation (C.I.H.) des systèmes de peinture correspondant au fascicule n° 56 du CCTG. Les systèmes précédemment homologués par la C.I.H. ont d'ailleurs été transférés en systèmes certifiés ACQPA à quelques modifications près, en particulier pour certaines épaisseurs de produits, afin de respecter les nouvelles règles d'acceptabilité introduites dans la NFT 34550.

Qu'est-ce qui change par rapport à l'homologation interministérielle ?

■ **Sur le fonctionnement :**

Tout d'abord le vocabulaire ! On parle maintenant de systèmes certifiés et non plus de systèmes homologués. Le principe reste le même :

- un référentiel définit les règles d'acceptabilité de fonctionnement, mais ce référentiel est maintenant validé en réunion de Conseil d'Administration tierce-partie ;
- les essais de qualité en laboratoire sont toujours réalisés par le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées, principalement le LRPC Lyon, mais l'examen des résultats d'essais ne se fait plus en commission, mais en Comité de Certification Produit (C.C.P.) lui même également tierce-partie ;
- la publication des résultats ne se fait plus sous forme de circulaire d'homologation diffusée par les Journaux Officiels, mais sous forme de liste de systèmes certifiés diffusée par l'ACQPA ;
- les audits de surveillance remplacent les visites de contrôle en usine (VCU) mais gardent le même esprit. Ces audits sont réalisés par les mêmes LRPC avec une extension possible

à d'autres organismes, l'internationalisation de l'ACQPA entraînant une augmentation du nombre de sites à auditer.

■ **Sur le domaine d'application :**

Le domaine d'application de la certification ACQPA a repris pour les structures métalliques les travaux de l'ancienne C.I.H. en l'étendant à l'entretien des ouvrages sans mise à nu complète de l'acier et application sur des vieux fonds.

On peut décrire le domaine de la certification ACQPA avec les points suivants :

- systèmes de peinture correspondant à la classe « haute durabilité » ;
- systèmes de peintures liquides pour les aciers décapés et métallisés et systèmes de peintures liquides et poudres pour les aciers galvanisés ;
- protection des ouvrages métalliques de génie civil, de bâtiment et les équipements divers en fer, fonte ou acier dont les éléments ont une épaisseur minimale de 3 mm ;
- environnement d'ouvrage aérien C2, C3, C4 correspondant à 4 types d'environnement de la NF EN ISO 12944.2 et immersion Im2 de la même norme ;
- subjectile en acier décapé par projection d'abrasif, en acier métallisé à chaud ou en acier galvanisé à chaud ;
- travaux neufs ou d'entretien, avec des systèmes spécifiquement certifiés pour chacune des catégories de travaux.

Comme dans le cas de la C.I.H., la certification impose un marquage de tous les emballages livrés avec la marque ACQPA, sous la forme du logo ACQPA suivi du numéro de certification du produit figurant sur la fiche du système certifié (exemple ACQPA 31223).

Il est important de signaler que seule cette référence à la marque ACQPA sur chaque récipient ou emballage permet d'être assuré que le produit a bien subi les dispositions d'assurance qualité prévues par le référentiel de certification et ce dans les lieux de production et de contrôle préalablement certifiés par l'ACQPA et faisant l'objet d'audits réguliers de sa part.

Enfin, le référentiel prévoit que toute modification d'une composition de formule ou d'un paramètre certifié ne peut être autorisée qu'après accord de l'ACQPA suite à une demande préalable avec dossier justificatif.

■ Publication ACQPA

Une première liste de systèmes de peinture certifiés par l'ACQPA a été publiée en janvier 1997 et diffusée auprès des membres de l'ACQPA et de tous ceux qui en font la demande.

Le document consiste en une reprise des systèmes précédemment homologués par la C.I.H., des systèmes précédemment agréés par la SNCF, EDF ou la Marine Nationale et de systèmes nouveaux certifiés suivant le référentiel de l'ACQPA.

Les utilisateurs des anciennes circulaires ou décisions officielles d'homologation constateront qu'il manque les tableaux de la partie inférieure des anciennes fiches d'homologation, c'est-à-dire ceux donnant des renseignements sur :

- les caractéristiques d'emploi des produits utiles pour le choix du système ;
- les caractéristiques d'identification rapide (CIR) des produits constituant le système ;
- les caractéristiques de mise en oeuvre des produits.

Les fiches complètes feront l'objet d'une publication ultérieure fin 1997 et seront disponibles au secrétariat de l'ACQPA. La publication comportera également une présentation de la certification et des conseils pour l'utilisation du document et son application à la mise en peinture des ouvrages. Cette publication comporte 165 systèmes dont une cinquantaine pour l'entretien des ouvrages déjà peints ; certains systèmes sont applicables sur acier métallisé ou sur acier galvanisé seulement.

En régime normal, il est prévu une publication annuelle des systèmes certifiés ; cette publication comportera alors :

- des nouvelles fiches correspondant aux certifications de systèmes prononcées par l'ACQPA suite aux travaux du C.C.P. ;
- des fiches existantes modifiées ou non en fonction de l'évolution des produits ou du marché.

■ Autres référentiels en étude :

Deux autres référentiels sont en cours d'étude ou de publication.

■ **Le premier concerne la protection des surfaces intérieures des réservoirs et de capacités en acier contenant des liquides ou des produits chimiques. Les spécifications**

techniques sont actuellement rédigées et la norme correspondante en cours d'enquête. La

question de la certification de systèmes de protection pour chaque usage particulier (par exemple contact avec un produit chimique désigné) reste posée ; le coût des essais, la faiblesse du marché et surtout le faible nombre de fabricants concernés vont plutôt dans le sens d'une norme de spécification sans certification tierce-partie.

Il appartiendra donc au conseil d'administration de l'ACQPA de prendre position sur les choix offerts par le projet de norme.

Précisons enfin que l'extérieur des réservoirs pourra être protégé par les systèmes de peinture certifiés dans le cadre du référentiel précédent.

■ Le deuxième concerne les produits et systèmes de peinture pour la protection des plates-formes offshore.

Pour ce sujet, le principe de la certification des systèmes de peinture est retenue et comme pour l'ancienne C.I.H. des systèmes testés dans le cadre des procédures ELF par des laboratoires indépendants pourront être repris. Actuellement le projet de norme NFT 34600 est à l'enquête probatoire pour définir des spécifications et des essais de qualification pour la catégorie de corrosivité C5M. Il reste à écrire le règlement particulier de certification basé sur cette norme et à transformer les systèmes référencés en systèmes certifiés. Il s'agit également de systèmes de peinture « haute durabilité » pouvant être utilisés avec protection cathodique de la structure.

En parallèle des travaux sont en cours pour la qualification des couleurs de finition des peintures de systèmes certifiés. En effet le développement de la couleur sur les structures métalliques rend nécessaire un suivi de la tenue des couleurs, c'est-à-dire la mise en place d'une procédure normalisée in situ et la définition d'écarts colorimétriques acceptables pour intégrer l'évolution de la couleur dans le temps ainsi que les conséquences des applications en extérieur.

Un projet de norme NFT 34554 est en cours d'enquête sur ce sujet ; dès sa publication il restera à rédiger les documents de certification des couleurs des couches de finition et à réaliser la banque de données correspondante des couleurs certifiées par produit.

3.2 - La certification des applicateurs industriels

■ Les motivations

La certification des applicateurs industriels appelée certification des opérateurs a été, en fait, motivée par plusieurs composantes convergentes vers un même objectif : une qualification reconnue de tous.

Tout d'abord, le besoin des Maîtres d'Ouvrages, Maîtres d'Oeuvres de disposer :

1. *de personnel qualifié pour la mise en oeuvre des systèmes de peinture anticorrosion qui font l'objet eux-mêmes d'une certification,*
2. *de supprimer, par là même, les épreuves dites de qualifications propres à chaque donneur d'ordre, la qualification SNCF en est un exemple.*

Au niveau des entreprises, sous l'égide du GEPI, la volonté de redorer une profession ternie par le manque de qualification reconnue des personnels a permis de constituer le maillon nécessaire à la réussite de la mise en oeuvre d'une démarche assurance qualité. La motivation est forte, sans oublier les fabricants de peinture qui sentent ici la possibilité de favoriser l'évolution de leur produit au travers d'une mise en oeuvre parfois difficile et délicate, mais pouvant être assurée par du personnel qualifié.

■ La certification dans son environnement

Les applicateurs de peintures industrielles peuvent être également opérationnels dans le domaine du bâtiment et aujourd'hui bon nombre d'entreprises dans ces conditions bénéficient d'une qualification bâtiment - QUALIBAT -, basée notamment sur des critères administratifs et des références de chantier.

Certaines d'entre elles disposent en plus de la certification ISO 9001 ou ISO 9002 qui valide leurs compétences en matière de système assurance qualité. Dans ce cadre, la certification des personnels applicateurs se positionne tout naturellement au niveau de la phase finale d'une démarche assurance qualité.

■ La certification

La certification des opérateurs est définie à l'annexe I ci-après.

3.3 - Certification des inspecteurs

Vers un co-label ACQPA / FROSIO ?

Troisième et dernier domaine statutaire de certification, le début des réflexions sur les inspecteurs date du premier semestre 1996.

Maillon à part entière de la « chaîne qualité », il est inutile d'épiloguer ici sur la nocivité d'un inspecteur incompetent....

Contrairement aux peintres, il existe déjà deux organismes ayant développé un système de certification d'inspecteur en peinture anticorrosion : le NACE américain et le FROSIO norvégien. Certains membres de l'ACQPA (marine et offshore) sont d'ailleurs déjà confrontés, lors de travaux internationaux qu'ils font faire ou qu'ils ont à faire, à l'obligation de présenter des inspecteurs certifiés par l'un de ces deux organismes. Dès le départ, la question fut posée de savoir si l'on développerait un nouveau système de certification « franco-français » ou bien si l'on se rapprocherait d'un organisme existant pour profiter de son expérience.

Après réflexion, les avantages de la 2ème possibilité apparurent suffisamment intéressants pour entamer des négociations avec le FROSIO, organisme bénéficiant d'une bonne reconnaissance européenne, voire maintenant internationale, surtout dans les domaines de la protection offshore et marine. Un projet de convention entre cet organisme et l'ACQPA est en cours de négociation. Une nouvelle commission vient d'être créée pour élaborer le référentiel de certification et doit en premier lieu étudier cette convention pour la soumettre à l'approbation du conseil d'administration.

Parallèlement, une norme européenne sur la qualification des inspecteurs en peinture anticorrosion est en cours d'élaboration (voire en phase d'achèvement). Il faut d'ailleurs signaler que le président du groupe travaillant sur ce sujet (CEN TC139 SC1 WG1) est membre du bureau du FROSIO... et que deux des trois représentants français (Mrs Guy Maire et Jean Pierre Pautasso (Marine Nationale)) font également partie de la nouvelle commission ACQPA évoquée ci dessus. Bref... sans vouloir anticiper une décision du conseil d'administration, on peut dire que, sauf accident, on s'achemine vers un « co-label » FROSIO/ACQPA avec reconnaissance mutuelle des deux organismes.

■ **Le projet de norme européenne sur la qualification des inspecteurs en peinture anticorrosion**

Que la future certification des inspecteurs se fasse ou non en collaboration avec le FROSIO, la norme de référence de l'ACQPA sera le projet européen qui est suffisamment avancé pour pouvoir en parler ici. Ce projet définit les critères de qualification d'un inspecteur et vise à « assurer un niveau minimum de compétence professionnelle pour le travail d'inspection des différentes étapes de la protection anticorrosion des structures métalliques et pour les travaux neufs et de maintenance ».

La responsabilité de l'inspecteur y est définie comme consistant à confirmer et à assurer que les travaux de protection sont conduits conformé-

ment à la spécification et aux règles de l'art, ceci au moyen de contrôles comprenant l'échantillonnage de surfaces de référence et des vérifications par sondage. Il y est clairement établi que l'inspecteur ne fait pas partie du contrôle « interne », mais il peut appartenir à l'entreprise d'application dans la mesure où il n'est pas directement partie prenante dans la conduite des travaux (contrôle « externe »). Le contrôleur « extérieur » est évidemment un « inspecteur » au sens du projet de norme.

■ **Compétences d'un inspecteur en protection anticorrosion**

Les compétences des inspecteurs en protection anticorrosion sont détaillées en annexe 2 ci-après.

4 - IMPACTS SUR LES MARCHÉS DE PROTECTION DES OUVRAGES MÉTALLIQUES DU MELTT

À la lecture de cet article, même un bétien du domaine sent bien que beaucoup de choses sont en train de changer et de se mettre en place. Mais, concrètement, pour l'ingénieur rédigeant un cahier des charges de protection d'ouvrage, quels sont (et seront) les changements au niveau de son marché ? Pour répondre à cette question, nous distinguerons la certification des systèmes de peinture de celle du personnel, que ce soit les peintres-opérateurs ou les inspecteurs.

Pour les produits, le fascicule 56 du CCTG reste applicable

Il n'est peut être pas inutile de rappeler ici et très brièvement le principe de ce fascicule qui donne pour un certain nombre de procédés de protection des garanties d'anticorrosion, de tenue et d'aspect (stabilité de la couleur essentiellement).

Pour les procédés comportant une mise en peinture (travaux neufs avec mise en peinture de l'acier décapé ou métallisé ou galvanisé ou revêtu d'une prépeinture (PGP) et travaux de maintenance avec remise en peinture d'un ouvrage peint ou galvanisé et peint), le fascicule 56 différencie la garantie selon que l'on utilise ou non un système dit de type « A ». Ces systèmes de type « A » étaient, en fait, les systèmes homologués par l'ex. Commission Interministérielle d'Homologation.

La CIH a décidé, lors de sa dernière réunion du 28/9/95 de réserver l'homologation des systèmes de peinture à ceux qui obtiendront le droit d'usage de la marque ACQPA. Le protocole d'accord passé entre le MELTT et l'ACQPA a été acté par un avis de la DAEI au JO du MELTT du 30/11/96. La référence à un système de type A revient donc automatiquement à demander que le système de peinture soit certifié par l'ACQPA.

Demander que le système de peinture soit homologué ou certifié n'est pas suffisant. Il faut, en plus, que l'ingénieur précise la classe de certification de ce système. Par le passé, il demandait par exemple "Le système est homologué en classe IIAM1"... maintenant, il demandera "Le système est certifié en classe C4ANV"... ce qui signifie exactement la même chose à la différence près que la CIH n'homologuait que des systèmes pour les travaux neufs (ou travaux d'entretien avec décapage complet de l'acier) alors que l'ACQPA certifie aussi des systèmes pour la maintenance (avec maintien de tout ou partie des anciens fonds). Cette dernière propriété est explicitée par la lettre "N" (travaux Neufs) ou "M" (travaux de Maintenance) dans le n° de certification du système. Le tableau ci après donne les clés permettant de définir la classe de certification en les comparant à celles utilisées par la CIH.

	CIH	ACQPA
Classe de corrosivité de l'environnement	R = Rural U = Urbain et industriel M = Maritime ED = immergé eau douce ES = immergé eau salée	C3 @ Rural C3 @ Urbain et industriel C4 @ Maritime Im = immergé eau douce et eau salée
Type de subjectile	A = Acier décapé G = acier Galvanisé Z = acier métallisé	A = Acier décapé G = acier Galvanisé Z = acier métallisé
Type de travaux	homologation pour des travaux neufs uniquement	N = travaux Neufs M = travaux Maintenance
Performance d'aspect	1 = parties vues 3 = parties non vues	V = parties Vues I = parties non vues (Invisibles)

Le n° de certification ACQPA comporte les sigles du tableau ci dessus dans l'ordre suivant : * classe de corrosivité / type de subjectile / type de travaux / performance d'aspect * suivi du n° d'ordre du système.

Exemple : C4AMV999 = système certifié en ambiance aérienne maritime, sur acier décapé (Sa2,5 ou Sa3), pour des travaux de maintenance (conservation éventuelle de tout ou partie des anciens fonds) et pour les parties vues des ouvrages (stabilité de la couleur de finition) enregistré à l'ACQPA sous le n° 999.

Pour les personnels, la balle est dans le camp du donneur d'ordre...

Si le fascicule 56 du CCTG permet facilement de passer de l'ancien au nouveau système, il n'en va pas de même pour les personnels, les peintres ou les inspecteurs. En effet, rien n'est prévu pour le moment dans les textes actuels, CCTG ou CCAG, pour imposer la certification du personnel intervenant sur le chantier. La balle est donc dans le camp du donneur d'ordre qui devra préciser cette demande dans son marché particulier.

Il faut insister ici sur l'effort effectué par cette profession pour valoriser son savoir faire et amener ainsi le maillon manquant à la "chaîne qualité" sans laquelle il est illusoire d'espérer la durabilité recherchée.

Il faut insister également sur la démarche volontairement ouverte - notamment sur l'Europe de la certification des personnels qu'il s'agisse des opérateurs avec une profession bien décidée à utiliser cette référence pour diffuser ses compétences ou des inspecteurs avec le co-label ACQPA / FROSIO qui sera très largement reconnu.

Il faut insister enfin sur le fait que si les donneurs d'ordre ne "jouent pas le jeu", le mouvement actuel s'arrêtera rapidement car les entreprises ne verront pas le retour de leur investissement.

Tout le monde aura perdu, à commencer par le client, propriétaire de l'ouvrage.

Si vous avez un ouvrage à protéger, demandez dès maintenant que le peintre soit certifié, comme vous le demanderez bientôt pour l'inspecteur. Avec l'utilisation d'un système de peinture lui aussi certifié et en adjoignant les conseils techniques du laboratoire régional le plus proche, vous aurez mis ainsi de votre côté toutes les chances pour donner à votre ouvrage la protection la plus longue possible.

D. ANDRE, J. FUCHS, G. MAIRE ■

Pour en savoir plus, quelques adresses utiles :

● **LCPC Secrétariat permanent de l'ACQPA**

M. D. André et Mme F. Brivot, 58 Bd Lefebvre, 75732 Paris cedex 15,
tél. 01 40 43 51 54, fax 01 40 43 65 14

● **Secrétariat technique « opérateurs » de l'ACQPA**

Mme E. Hippo, 10 rue du Débarcadère 75052 Paris cedex 17,
tél. 01 40 55 12 08, fax 01 40 55 12 09

● **CETE Normandie Centre LRPC de Blois**

M. G. Maire, 11 rue Laplace, 41000 Blois,
tél. 02 54 55 49 53, fax 02 54 74 04 93

● **CETE de l'Est LRPC de Nancy**

M. J. Fuchs, 71 rue de la Grande-Halle, BP 854510 Tonnoir,
tél. 03 83 18 41 41, fax 03 83 18 41 00

● **FIPEC (Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs)**

Mrs G. Mathieu, JL Jannot et M. Joly, 42 avenue Marceau, 75008 Paris,
tél. 01 53 23 00 00, fax 01 47 20 90 30

● **GEPI (Groupe National Technique des Entrepreneurs de Peinture Industrielle)**

Mrs M. Burgun et R. Flipo, 9 rue la Pérouse, 75784 Paris cedex 1,
tél. 01 40 69 53 73, fax 01 40 70 01 74

ANDRE Daniel

Ingénieur - LCPC
Adjoint au chef du Service
Physico-chimie des Matériaux
Tél : 01 40 43 51 55

FUCHS Jacques

Ingénieur - LRPC de Nancy
Chef du pôle Ouvrages d'Art
Tél : 03 83 18 41 41

MAIRE Guy

Ingénieur - LRPC de Blois
Cellule Chimie des Ouvrages
d'Art et Matériaux
Tél : 02 54 55 49 53

ANNEXE 1

La certification des applicateurs industriels

La certification des opérateurs est définie au travers de trois documents de base, à savoir :

1. un règlement particulier
2. un cahier des modes opératoires pour les épreuves théoriques
3. un référentiel de certification du personnel pour les épreuves pratiques.

D'autres documents traitent notamment de l'agrément :

- des examinateurs
- et des centres d'examen.

Enfin, pour compléter cette liste non exhaustive, des protocoles d'accord entre l'ACQPA, les examinateurs et les centres d'examen ont été élaborés.

La certification ACQPA définit 3 niveaux :

- N1 • l'Applicateur exécutant
- N2 • le Chef d'équipe ou de chantier
- N3 • le Conducteur de travaux

A l'heure actuelle, seuls les deux premiers niveaux font l'objet de procédure de certification, le niveau 3 sera institué dans une phase ultérieure.

Afin de gérer une période de transition sur 3 ans, à compter du 1er janvier 1997, date de démarrage de la certification, il a été instauré deux modes de certification :

- la certification sur dossier
- la certification sur examen.

■ 1. La certification sur dossier

Elle est délivrée pour une période de validité de 3 ans maximum qui s'écoulera au 31 décembre de l'année 1999. A ce moment là, seule la certification sur examen subsistera.

Exigences :

- formation scolaire : aucune,
- expérience professionnelle ; activité de plus de 6 mois dans la ou les option(s) demandée(s)
- attestation d'un statut professionnel depuis plus d'un an,
- liste des formations suivies avec justificatifs,
- justification de l'existence d'une gestion assurance qualité au sein de l'entreprise (M.A.Q., P.A.Q., ...).

■ 2. La certification sur examen

Exigences : Pas de formation scolaire, ni d'expérience professionnelle exigées

L'examen se base sur des

- compétences théoriques : N1 oral N2 écrit
- et des compétences pratiques.

Validité : limitée à 3 ans renouvelable 2 fois (2 x 3 ans) au vu de l'attestation de suivi professionnel du candidat et de

la liste des formations suivies. Au terme de 9 ans, un nouvel examen est prévu.

Les options : 4 options sont actuellement retenues :

- la préparation de surface,
- l'application de peintures,
- la métallisation,
- les revêtements spéciaux ou spécifiques.

L'épreuve théorique comporte des questions à choix multiple sur les thèmes suivants :

- les conditions des dispositions générales d'exécution
- les matériels,
- les produits,
- le contrôle des performances, les défauts ...
- la sécurité, l'environnement.

L'épreuve pratique est exécutée sur une éprouvette type représentative de surfaces d'égales difficultés d'application.

Les épreuves sont notées selon des critères parfaitement définis.

Si l'opérateur passe avec succès l'épreuve de certification, une attestation ACQPA lui est délivrée sur laquelle sont mentionnés le niveau et les options validées. Un badge lui est également délivré afin de justifier à tout moment sur le site de travail de sa qualification - ACQPA.

■ 3. Les intervenants

Au sein de l'ACQPA, un comité de certification gère sous l'égide de son président, Marcel BURGUN, tout ce qui relève de la certification des opérateurs.

Quatre centres d'examen sont actuellement agréés par l'ACQPA comme lieu de déroulement des épreuves pratiques et théoriques. Il s'agit de I.F.L.P. (Centre de BOBDEAUX/AMBARES et Centre de PIERREFITTE - Région parisienne), du C.F.A. de SAINT ETIENNE et du Centre de Formation et des Métiers, sis à CHATEAUNEUF-les-MARTIGUES (Var).

Enfin, les examinateurs ont été agréés sur examen, l'ACQPA peut compter aujourd'hui sur 6 personnes très qualifiées, aussi bien sur un plan théorique que pratique.

■ 4. Les premières certifications

Les entreprises ont déposé à la fin du mois de mai une centaine de dossiers pour une certification sur dossier. La première séance d'examen a eu lieu au centre I.F.L.P. de BOBDEAUX/AMBARES dans le courant du mois d'avril 1997. Elle a concerné 14 candidats pour 16 options, deux candidats ayant opté pour 2 options.

Les premiers diplômes seront attribués dans le courant du mois de juin à la suite d'une réunion du comité de certification, qui se tiendra à la mi-mai.

Une enquête du G.E.P.I. laisse entrevoir un potentiel de certification supérieur à 1000 personnes, la certification des opérateurs est donc à son début. Son développement est un véritable enjeu industriel pour lequel les entreprises, mais aussi les donneurs d'ordre, doivent contribuer à la réussite de cette démarche.

ANNEXE 2

Compétences d'un inspecteur en protection anticorrosion

Selon le projet de norme européenne, les compétences d'un inspecteur en protection anticorrosion par système de peinture s'expriment en terme de :

- *Connaissances précises et connaissances générales*
- *Savoir faire*
- *Expérience*

■ **1. Les connaissances** ... L'inspecteur doit avoir des connaissances précises sur :

- *les méthodes de préparation et de nettoyage des surfaces*
- *les méthodes d'application des peintures*
- *les problèmes liés à la localisation des travaux (atelier ou site)*
- *les principes de fonctionnement et les caractéristiques des peintures et revêtements*
- *les normes et règlements applicables*
- *de plus, il doit avoir des connaissances générales sur :*
- *les théories de la corrosion*
- *les dispositions constructives visant à minimiser les risques de corrosion et faciliter la protection*
- *la protection cathodique*
- *le matériel de préparation des surfaces et d'application des produits (y compris la métallisation)*
- *les symptômes et les modèles de défaillance d'un revêtement*
- *les facteurs de risques en hygiène et environnement*
- *les destinations appropriées des déchets*

■ **2. le savoir faire** ... La compétence professionnelle d'un inspecteur se traduit par une aptitude à (« savoir faire ») :

- *lire et comprendre une spécification,*
- *organiser et conduire son travail en accord avec la spécification,*
- *calibrer et utiliser tous les matériels nécessaires à l'inspection,*
- *savoir évaluer les problèmes relatifs :*
- *à la préparation des surfaces,*
- *à l'utilisation adéquate des peintures (compatibilité),*
- *au « design », aux méthodes d'assemblage et à l'accessibilité,*
- *à la classification des environnements,*
- *à la caractérisation du substrat,*
- *au savoir faire des opérateurs,*
- *au non respect de la spécification,*
- *à l'hygiène, à la sécurité et à la protection de l'environnement,*
- *à la couleur,*
- *à la documentation et à sa traçabilité,*
- *suivre la réalisation des surfaces de référence et en rendre compte,*
- *rédiger et diffuser ses comptes-rendus d'interventions,*
- *résoudre les conflits relevant de son domaine de compétence.*

■ **3. L'expérience** ... Deux niveaux d'inspecteurs sont prévus par la norme qui ne se différencient entre eux que par deux années d'expérience à plein temps. Mais cette expérience professionnelle de deux ans, les 2 niveaux ont les mêmes niveaux de connaissances et de savoir faire.

■ **Fonctionnement de la future certification.** Compte tenu des négociations actuelles avec le FROSIO et du démarrage des réflexions à l'ACQPA, il serait prématuré de rentrer ici dans le détail du fonctionnement de la future certification. Néanmoins et en prenant comme hypothèse la collaboration ACQPA/FROSIO avec délivrance d'un label on peut en tracer les grandes lignes.

La certification sera basée sur une formation obligatoire et intensive d'une durée de 2 semaines, qui se terminera par un examen, pratique et théorique, d'une journée.

Le ou les organisme(s) de formation et l'ACQPA, organisme certificateur, devront être évidemment absolument indépendants. Ces organismes de formation ainsi que leur programme de cours devront être agréés par l'ACQPA puis approuvés par le FROSIO. L'ACQPA nommera des examinateurs qui devront également être approuvés par le FROSIO. Ces examinateurs (en nombre assez limité) auront un strict engagement de confidentialité vis à vis du jeu de questions constituant l'examen type FROSIO.

L'accès à la formation et à l'examen est conditionné à des niveaux d'apprentissage scolaire ou professionnel dans des domaines précisés dans le référentiel du FROSIO et assortis d'une durée d'expérience dans ces domaines. Il serait trop long de développer ici ce point d'autant plus qu'il devra vraisemblablement être adapté aux spécificités françaises. Les examinateurs proposeront au futur Comité de Certification des Inspecteurs, les candidats reçus à l'examen. Ce comité statuera et transmettra au FROSIO les noms et coordonnées des nouveaux inspecteurs - ACQPA / FROSIO -. C'est l'enregistrement auprès du FROSIO qui délivrera le label et donnera à ce nouvel inspecteur la possibilité de faire valoir sa compétence sur tous les territoires et les marchés reconnaissant l'un de ces deux organismes.

Enfin et toujours selon le référentiel norvégien FROSIO, la validité du certificat sera de 5 ans avec renouvellement si l'inspecteur est en mesure de fournir la preuve qu'il aura exercé son activité d'inspection pendant 2 des 5 ans.

■ **L'inspecteur certifié ACQPA ... pour quand ?** On peut estimer qu'en se « mariant » avec un organisme ayant déjà une expérience dans ce domaine, l'ACQPA devrait gagner beaucoup de temps. Ceci est certainement vrai... il n'en reste pas moins que certaines questions cruciales restent à éclaircir :

- *existe-t-il un centre de formation avec une expérience et une équipe pédagogique apte à répondre rapidement à ce qui est demandé par le FROSIO ?*
- *le « marché » de la certification des inspecteurs est-il suffisant pour justifier la mise en route forcément lourde et coûteuse d'une telle procédure ?*
- *le programme de formation du FROSIO (très axé sur l'anticorrosion en marine et offshore), quand il sera bien connu de tous les membres de l'ACQPA (qui a une assise très large) sera-t-il bien accepté par ces membres ? ... et quelle sera notre marge de manoeuvre pour adapter ce programme à nos besoins ?*

La nouvelle commission d'étude « Certification des inspecteurs » commence à réfléchir à ces différentes questions (et à d'autres...). L'objectif affiché est d'essayer de démarrer cette certification au début de l'année 1998. Espérons simplement qu'elle tienne cet objectif. Pour ce qui le concerne, le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées est fortement impliqué dans cette nouvelle démarche et bien décidé à le rester.

Politique de Promotion de l'Innovation : la Charte "Innovation Ouvrages d'Art"

Depuis 1991, la Charte "Innovation Chaussées", signée par la Direction des Routes avec les syndicats d'entreprises routières USIRF et SPECBEA, est le canal privilégié de promotion de l'innovation en matière de techniques routières. Ce mécanisme est désormais bien en place, et donne satisfaction aux différents partenaires. Le 7 mai 1997, une seconde charte a été signée par Christian LEYRIT, avec la FNTP, pour étendre la promotion de l'innovation au domaine des ouvrages d'art. Nous présen-

tons ici ce nouveau mécanisme, qui va se mettre en place dans les mois à venir.

La capacité à innover des entreprises de génie civil françaises est un enjeu important, car elle leur permet de proposer des ouvrages et des méthodes bien adaptés aux besoins des maîtres d'ouvrage, et les maintient à la pointe du progrès international. La Charte "Innovation Ouvrages d'Art" vise donc à favoriser le développement d'idées nouvelles et d'inventions produites par les entreprises, dans le domaine des ponts, tranchées couvertes, murs de soutènement...

DÉROULEMENT DU PROCESSUS

Le processus d'innovation se décompose schématiquement en cinq phases :

1. Définition et affichage d'objectifs généraux par la Direction des Routes, à partir de propositions du réseau technique, et lancement d'un appel d'idées aux entreprises.
2. Remise par les entreprises de dossiers présentant des idées d'innovation ou des inventions. Ces dossiers seront sélectionnés par des experts techniques, et transmis au Comité de pilotage de la Charte, constitué de représentants de la Direction des Routes, du SETRA et du ICPC, pour retenir les idées qui répondent le mieux aux attentes de l'administration, dans les thèmes affichés ou en dehors.
3. Mise au point de l'innovation par l'entreprise, avec un suivi technique par le réseau du Ministère, selon un programme précisé à l'avance.
4. Une fois l'innovation arrivée à maturité technique, mise en œuvre sur un ou plusieurs ouvrages expérimentaux. Cette campagne d'expérimentation, a priori sur des ouvrages du réseau national non concédé, comprendra un suivi de la réalisation, dans le cadre d'un programme de constatations

défini en commun et cofinancé par l'entreprise et la Direction des Routes.

5. À la fin du processus de développement et d'expérimentation, validation de l'innovation par la Direction des Routes, sous la forme d'un certificat de bonne fin, d'un avis technique du SETRA ou de la demande d'attribution d'un label par le comité IVOR du Plan Génie Civil.

Le mécanisme concerne des innovations allant du simple produit d'équipement jusqu'à la conception générale d'ouvrages types nouveaux, en passant par les méthodes et outils de construction. Il sera limité aux ouvrages courants, y compris les ouvrages mixtes de faible portée. Les techniques d'entretien et de réparation sont également couvertes par la charte, et constituent sans doute un des domaines les plus prometteurs.

Par ailleurs, la conception et la réalisation des grands ouvrages innovants seront encouragées par une autre procédure, consistant à lancer des appels d'offre sur performance, des concours de conception-réalisation ou à autoriser les variantes larges sur des sites prédéterminés par la Direction des Routes.

LES GRANDS PRINCIPES

Pour chaque projet d'innovation retenu, un protocole contractualisera les engagements réciproques et détaillera les caractéristiques de l'innovation ainsi que le processus de mise au point et de validation. Un Comité de suivi propre à chaque protocole, constitué de représentants de l'entreprise et du Réseau technique du Ministère, supervisera le processus de développement.

La Charte n'est pas une organisation destinée à tester les idées des agents de l'Équipement. Il s'agit d'encourager l'innovation venant des entreprises. Celles-ci garderont la propriété de leurs inventions, ce qui implique le respect du droit de la propriété industrielle, ainsi que la confidentialité des informations échangées. En contrepartie, il reviendra à l'entreprise

d'assurer pleinement le financement du développement technique. Un point crucial est donc l'intérêt économique des innovations arrivées à maturité.

Outre le suivi technique du développement et de l'expérimentation, la contribution de la Direction des Routes sera de proposer des sites expérimentaux, dans des conditions de passation des marchés à préciser suivant l'ampleur de l'innovation. Elle prendra également en charge une partie des dépenses d'évaluation et de contrôle de la qualité, ainsi qu'une part des surcoûts liés à l'innovation. Enfin, les risques liés à l'innovation (coût des réparations en cas d'échec) seront, dans certaines limites, assumés par la Direction des Routes.

UNE PARTICIPATION DÉTERMINANTE DES SERVICES DÉCONCENTRÉS

L'ensemble du Réseau technique du Ministère doit participer activement au fonctionnement de la Charte, au niveau des groupes de suivi, lors des chantiers expérimentaux et dans la définition des domaines où l'innovation est nécessaire pour améliorer la qualité et la pérennité des ouvrages. C'est pourquoi les secrétaires du Comité de pilotage de la Charte au SETRA, ont souhaité impliquer l'ensemble du réseau dès la définition des thèmes prioritaires, qui a eu lieu en mai et juin.

Les DDE jouent également un rôle déterminant, puisque les expérimentations seront réalisées dans le cadre des opérations de construction ou d'entretien d'ouvrages qu'elles gèrent sur routes nationales ou autoroutes non concédées. L'appui des CETE et des LRPC, plus proches des DDE que les services centraux, sera donc capital dans la recherche des sites expérimentaux.

CALENDRIER

La première réunion du Comité de pilotage a eu lieu le 5 juin 1997, et l'appel d'idées devrait être affiché avant la rentrée de septembre. Ce lancement suscitera sans doute un réel intérêt chez les entreprises et, souhaitons le, les pre-

miers dossiers pourront être sélectionnés avant la fin de l'année 1997.

Le secrétariat du Comité de pilotage de la Charte :

E. WATTEBLÉ, B. LECINQ ■

WATTEBLÉ

Elisabeth

L.T.P.E. - SETRA - CTOA
Division Grands Ouvrages
Tél : 01 46 11 35 15

LECIQ Benoît

L.P.C. - SETRA - CTOA
Division Grands Ouvrages
Tél : 01 46 11 36 28

Note sur le renforcement du ferrailage longitudinal des tabliers-dalles

Dans les tabliers-dalles, les moments fléchissants longitudinaux sur appuis sont à peu près uniformes dans le sens transversal, à condition que les appareils d'appuis soient peu espacés et que les appareils de rive ne soient pas en fort retrait par rapport aux bords libres du tablier. C'est ce que supposent les programmes de calcul de ponts-dalles PSIDA, PSIDP et MCP du SETRA.

Cette double condition ne va pas toujours de pair avec les exigences d'une certaine conception esthétique qui tend vers une augmentation sensible de l'espacement des appareils d'appui ou de la distance de ceux-ci aux bords libres du tablier.

Dans un tel cas, les moments fléchissants longitudinaux ne sont plus uniformes, mais présentent des pointes au droit des appareils d'appui. Ces concentrations de moments ne sont pas prises en compte par les programmes mentionnés ci-dessus. Il y a donc lieu de compléter les résultats du calcul automatique par une évaluation de ces variations de moments et du ferrailage complémentaire correspondant, à mettre en œuvre dans les zones d'appuis.

Ces concentrations d'efforts peuvent en principe être évaluées par le programme MRB du SETRA ou par un autre moyen général, tel que les éléments finis. Cependant, un tel moyen est élaboré et onéreux, surtout lorsqu'il s'agit de compléter les résultats des calculs PSIDA, PSIDP ou MCP, dans le cas des tabliers droits ou peu biais qui constituent leur domaine d'emploi.

À cet effet, le document PSIDP-EL, édité en 1985 par le SETRA (voir annexe 4, §7, pages 132 à 134) a proposé une règle simple pour ce calcul complémentaire.

Cependant, ce document n'a pas fourni d'exemple d'illustration de cette règle. C'est pourquoi, une note détaillée portant sur ce calcul complémentaire sera publiée par le SETRA en juin 1997. Elle sera jointe systématiquement à chaque envoi de note de calcul automatique par les programmes PSIDA, PSIDP et MCP, ou fournie sur simple demande des utilisateurs de programmes de calcul d'ouvrages types.

V. LE KHAC A. PLOUZEAU ■

La norme XPT 47.815

La norme XPT 47.815 a prévu des dimensions normalisées pour les appareils d'appui en caoutchouc fretté. Ces dimensions sont censées correspondre au domaine d'utilisation de ce type d'appareil d'appui. Cette norme, donc les dimensions, sert de référentiel pour l'admission à la marque "NF appareil d'appui".

Cependant, à l'usage, il est apparu que le tableau était trop restrictif et ne donnait pas assez de latitude aux projecteurs. Or si ceux-ci avaient besoin de dimensions intermédiaires ne figurant pas dans le tableau de la norme, il ne pouvait avoir des appareils d'appui comportant la marque NF et la vérification de la

conformité à la norme XPT 47.815 risquait de poser de nombreux problèmes pouvant conduire certains à proposer une gamme volontairement hors des dimensions normalisées pour ne pas avoir à demander la marque NF! Devant cette situation, il a été proposé de revoir ce tableau sous la forme ci-après.

* Au cours d'une transcription du tableau du BOA 26, le signe \leq est devenu $<$ par erreur et deux croix (208+2) 200 x 250 et 200 x 300 ont malencontreusement été supprimées. Nous prions nos lecteurs de nous pardonner cette erreur et publions ci-contre le tableau correct.

LE KHAC Vu

Ingénieur - SETRA - CTDA
Division Méthodologie et
Logiciels

Tél : 01 95 11 32 45

PLOUZEAU Annie

Ingénieur - SETRA - CTDA
Division Méthodologie et
Logiciels

Tél : 01 95 11 32 37



(8+2)	2	3	4				
l : largeur L : longueur	100 ≤ l ≤ 200 150 ≤ L ≤ 300	150 ≤ l ≤ 200 200 ≤ L ≤ 400	l = 200 200 ≤ L ≤ 400				
100 x 150	✓						
100 x 200	✓						
150 x 200	✓	✓					
150 x 250	✓	✓					
150 x 300	✓	✓					
200 x 200	✓	✓	✓				
200 x 250	✓	✓	✓				
200 x 300	✓	✓	✓				
200 x 350		✓	✓				
200 x 400		✓	✓				
(10+3)		3	4	5			
l : largeur L : longueur		250 ≤ l ≤ 300 300 ≤ L ≤ 600	250 ≤ l ≤ 400 300 ≤ L ≤ 600	300 ≤ l ≤ 500 300 ≤ L ≤ 600			
250 x 300		✓	✓				
250 x 350		✓	✓				
250 x 400		✓	✓				
300 x 300		✓	✓	✓			
300 x 400		✓	✓	✓			
300 x 450		✓	✓	✓			
300 x 500		✓	✓	✓			
300 x 550		✓	✓	✓			
400 x 400			✓	✓			
500 x 500				✓			
(12+3)		3	4	5	6	7	8
l : largeur L : longueur		l = 350 L = 450	350 ≤ l ≤ 450 400 ≤ L ≤ 600	350 ≤ l ≤ 500 400 ≤ L ≤ 600	400 ≤ l ≤ 500 400 ≤ L ≤ 600	450 ≤ l ≤ 500 500 ≤ L ≤ 600	l = 500 500 ≤ L ≤ 600
350 x 450		✓	✓	✓			
400 x 400			✓	✓	✓		
400 x 500			✓	✓	✓		
400 x 550			✓	✓	✓		
400 x 600			✓	✓	✓		
450 x 600			✓	✓	✓	✓	
500 x 500				✓	✓	✓	✓
500 x 600				✓	✓	✓	✓
(15+4)			4	5	6	7	
l : largeur L : longueur			l = 600 600 ≤ L ≤ 700	600 ≤ l ≤ 700 600 ≤ L ≤ 700	600 ≤ l ≤ 700 600 ≤ L ≤ 700	600 ≤ l ≤ 700 600 ≤ L ≤ 700	
600 x 600			✓	✓	✓	✓	
600 x 650			✓	✓	✓	✓	
600 x 700			✓	✓	✓	✓	
700 x 700				✓	✓	✓	

Toute autre dimension intermédiaire est également possible à condition qu'elle soit dans les limites des dimensions maximales figurant dans le tableau ci-dessus. La norme XP T 47.815 va être révisée pour tenir compte de

ces présentations mais, pour le moment, la marque NF Appareil d'appui est délivrée sur la base de ce tableau

M. FRAGNET ■

Dimensions des appareils d'appui en caoutchouc fretté admis à la marque NF

NOTA IMPORTANT

Pour le moment, seuls les appareils d'appui à feuillets de caoutchouc d'épaisseurs 8, 10 et 12 mm sont admis à la marque NF; la procédure d'admission à la marque NF pour les appareils d'appui à feuillets d'épaisseur 16 mm sera traitée au fur et à mesure des demandes.

FRAGNET

Michel

ingénieur - SETRA - C70A
Cellule Equipements
Tel : 01 46 11 32 13