

# La rénovation du pont

## Le remplacement de la suspension

A la suite de la rupture d'un des 60 torons élémentaires du Pont de Tancarville, la Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre lançait en 1995 une opération d'envergure, sous maîtrise d'œuvre DDE, consistant à remplacer la suspension du plus grand pont suspendu français, en maintenant la circulation. Le groupement d'entreprise Dumez GTM - Baudin Châteauneuf, attributaire du marché, a donc mis en œuvre une solution consistant à doubler la suspension ancienne. Une fois les nouveaux câbles et les nouvelles suspentes mis en place, le transfert de charge de l'ancienne suspension à la nouvelle a pu s'opérer en sollicitant la structure du pont - pylônes et tablier - grâce aux calculs aux grands déplacements, ce pour minimiser le matériel hydraulique et accélérer la mise en sécurité de l'ouvrage. Une fois l'ancienne suspension déchargée, l'opération comprenait aussi le démontage de cette dernière et la mise en peinture des nouveaux éléments.

### ■ RAPPEL HISTORIQUE

En juillet 1995, survenait la rupture d'un des 60 torons de 72 mm de diamètre composant la nappe amont du pont de Tancarville. Cette rupture faisait suite à un phénomène de corrosion fissurante, constaté sur l'ouvrage depuis les années soixante-dix. Les causes principales du développement de ce phénomène étant l'absence de galvanisation sur les fils constitutifs des câbles et l'ambiance très corrosive de la région de Tancarville : air salin et pétrochimie de la vallée de Seine.

A l'issue d'une consultation en procédure d'urgence sur solution "performantielle", le marché de changement de la suspension était attribué au groupement Dumez GTM - Baudin Châteauneuf.

Simultanément la Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre assistée de la DDE de Seine-Maritime et d'un collège d'experts, poursuivait une analyse détaillée de l'ouvrage pour vérifier son comportement dynamique.

### ■ GÉNÉRALITÉS SUR L'OUVRAGE

(photo 1)

Le pont de Tancarville, avec ses 608 m de travée centrale et deux travées latérales de 176 m, est le plus long pont suspendu français. Les pylônes sont en béton armé et présentent une hauteur de 125 m. Le poids propre du tablier atteint 12 000 t. Les câbles porteurs sont constitués de deux faisceaux de 60 torons chacun. Chacun présente un diamètre de 72 mm et sont constitués de 168 fils unitaires. Le poids propre de l'ancienne suspension (suspentes et câbles porteurs) représente 3 200 t de câbles. A sa conception, le changement de la suspension n'avait pas été pris en compte.

### ■ UN CHANTIER TRÈS CONTRAIGNANT

Le remplacement de suspension s'effectue sous circulation permanente ramenée de quatre voies à deux voies pendant la plus grande partie de la durée des travaux. Des coupures de circulation ne sont autorisées que huit nuits pour la durée totale des travaux. Deux types de contraintes en découlent :

- ◆ des contraintes en terme de sécurité, tant pour les usagers du pont que pour les personnes travaillant à côté de la circulation ;

- ◆ des contraintes au niveau de la structure. En effet, il a fallu intégrer dans toutes les phases de montage et de transfert de charge les effets des charges routières. Les conséquences sont multiples et variées : intégration des charges routières dans tous les calculs du phasage de transfert de charge, nécessité de bloquer et régler les nouvelles nappes en cours de constitution sur des pylônes oscillant sous les charges routières, etc.

D'autre part, des travaux de cette ampleur sont particulièrement compliqués par les conditions météorologiques souvent imprévisibles et violentes dans cette région.

### ■ LE PRINCIPE DE REMPLACEMENT

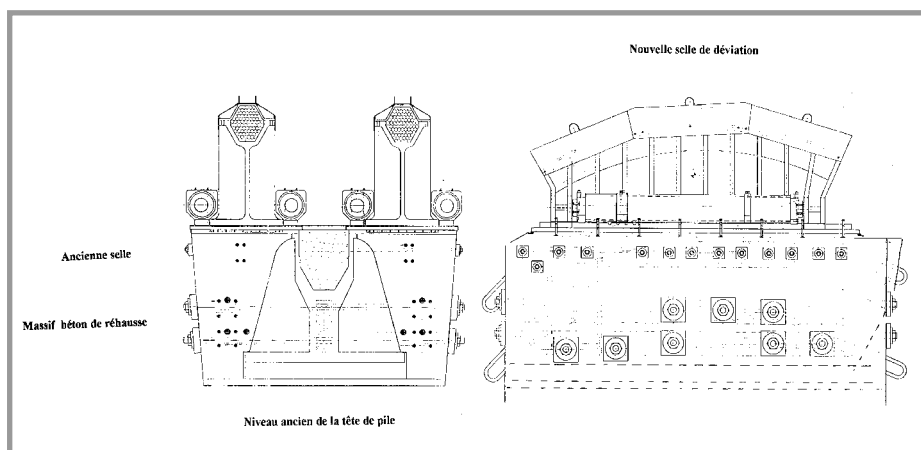
Il s'agit de lancer une deuxième suspension que l'on accroche au tablier et aux ancrages existants puis d'effectuer un transfert de charge du tablier de l'ancienne suspension à la nouvelle. Enfin, on démonte l'ancienne suspension. Selon ce prin-



Photo G. Forquet (Setra-CTOA)

Photo 1  
Vue du pont de Tancarville depuis la rive gauche  
View of Tancarville Bridge from the left bank

Figure 2  
Plan d'ensemble  
nouvelle tête de pylône  
General plan  
of new tower head



# de Tancarville

cipe, l'ouvrage évolue en permanence vers une augmentation de sécurité, ce qui est primordial pour ce type de travaux.

## ■ LES CHOIX TECHNIQUES

### La double suspension (figure 1)

Le principe mis en œuvre consiste à substituer une nappe de câbles par deux demi-nappes placées de part et d'autre de chacune des anciennes nappes. Cette disposition est due aux variations d'altitude des câbles pendant le transfert. En effet, les nouvelles nappes voient leur altitude par rapport au tablier au milieu de l'ouvrage baisser de 5,2 m pendant que l'ancienne nappe de câbles remonte de 3 m. Une telle disposition permet donc un croisement des deux suspensions.

### Le remplacement de 60 torons diamètre 72 mm par 2 x 90 torons diamètre 40 mm

En extrémité, chaque ancien toron est ancré sur trois barres d'ancrage. Les nouveaux torons sont ancrés sur une barre d'ancrage. Ce système triple donc le nombre de torons unitaires, mais permet de faire coexister les deux suspensions sur les mêmes barres d'ancrage. Cette solution, exclusivité du groupement GTM - Baudin Châteauneuf a été, à cette occasion, brevetée (photo 2).

### L'accrochage en pied de suspente

Les suspentes anciennes étaient accrochées au tablier par des étriers qui s'enroulent dans une cale oscillante. Cette disposition permet d'assurer une double articulation du pied de suspente (figure 1) : déplacement des câbles soumis aux vents transversaux par rapport au tablier et déplacement relatif du tablier par rapport à la suspension quand il se dilate. Il fallait donc assurer le même fonctionnement avec trois suspentes. Le groupement a donc choisi de remplacer la pièce d'enroulement à une gorge par une pièce d'enroulement à trois gorges.

### La modification des têtes de pylône (figure 2 et photo 3)

En tête de pylône, le passage des nouveaux câbles imposait un aménagement important, du fait du peu d'espace disponible pour implanter une nou-



Photo G. Forquet (Setra-CTOA)

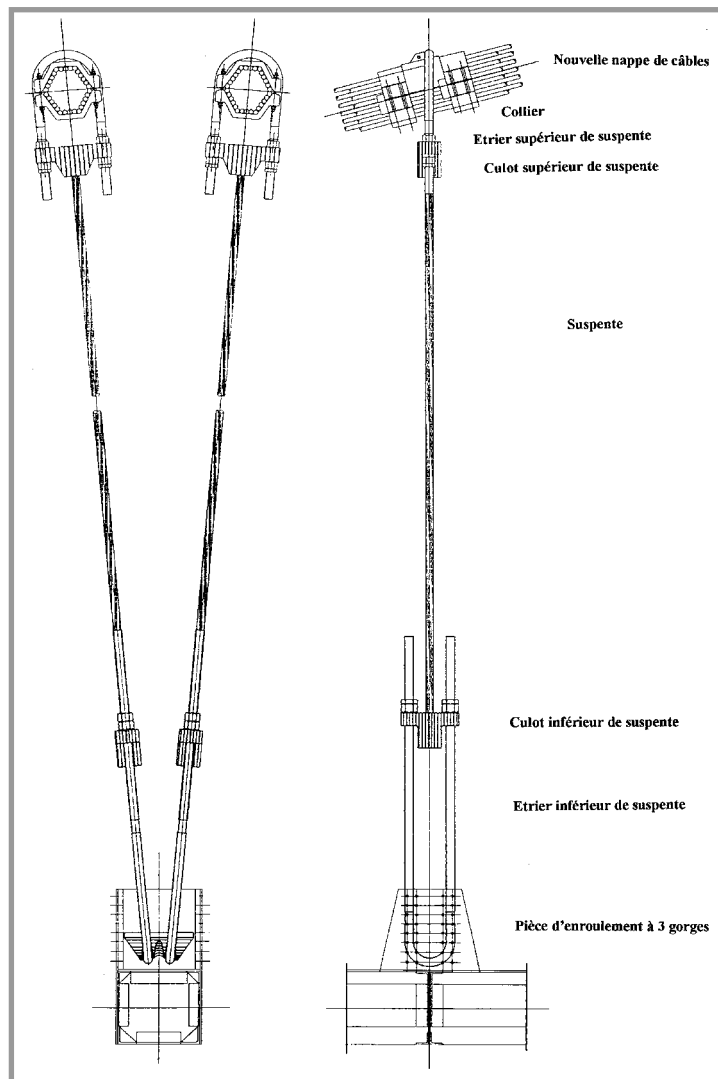


Figure 1  
Plan d'ensemble  
suspentes nouvelles  
General plan  
of new hangers

### Paul Pous



CONTRÔLEUR PRINCIPAL  
TPE  
DDE Seine-Maritime

### Antoine Grange



DIRECTEUR DE TRAVAUX  
Dumez GTM

### Damien Colombot



INGÉNIEUR  
PILOTE TECHNIQUE  
Baudin Châteauneuf

### Eric Joly



CHEF DE PROJET -  
ÉTUDES  
BET Dumez GTM

Photo 2  
Ancrages  
des nouveaux câbles

Anchoring of new cables





Photo G. Forquet (Setra-CTOA)

**Photo 3**  
**Levage d'une selle de déviation en tête de pylône. Arrivée en tête avant rotation de 90° et pose**  
*Lifting a deviation saddle to the top of the tower. At the top, before 90° rotation and placement*

**Photo 4**  
**Installations en tête de pylône. Portiques de manutention et plate-forme**  
*Installations on top of tower. Handling gantries and platform*



Photo P. Boulen (Fotographic)

velle suspension. Le principe a consisté à rehausser la tête de pylône avec un massif en béton précontraint agrafé sur la selle de déviation du câble existant, puis à poser deux nouvelles selles de déviation pour les nouveaux câbles. Les dispositifs de glissement imposent un entre-axe de 1,88 m pour les nouveaux câbles.

### Dans les chambres d'ancrages

La coexistence de la nouvelle et de l'ancienne suspension et la nécessité de séparer les nouveaux câbles en deux faisceaux conduit à réaliser une déviation angulaire des nouveaux torons dans les chambres d'ancrage. Ceci est obtenu à l'aide d'un cadre déviateur qui assure également l'absence de flexion trop importante des barres d'ancrage préjudiciable à la bonne tenue de l'ouvrage.

### Les colliers d'accrochage des suspentes à la nappe (figure 1)

Ces colliers sont constitués d'une mordache de serrage sur le faisceau de câble qui supporte un étrier. L'étrier permet d'assurer le rôle d'articulation. Cette solution technique qui a fait ses preuves est reconduite à l'identique pour la nouvelle suspension.

### La protection contre la corrosion

Lors du câblage, cette galvanisation est préservée grâce au dispositif anti-frottement installé sur la câbleuse de Baudin Châteauneuf pour la réalisation des câbles du pont de Tancarville. Enfin, lors de leur mise en place, les torons sont lancés dans une gouttière en PEHD et sur des rouleaux en polyamide qui ne dégradent pas la galvanisation. Une fois la nappe constituée, elle reçoit une protection périphérique composée de trois couches de brai-

vinyle. De plus, en partie supérieure le câble est mastiqué avec un mastic vinylique. Ainsi les câbles sont protégés en partie supérieure et laissent l'humidité s'évacuer en partie inférieure. L'utilisation de peinture au brai-vinyle permet, outre une bonne tenue dans le temps, d'avoir une peinture souple qui accepte les mouvements de la nappe sans s'altérer.

## LES ÉTUDES GÉNÉRALES

### La répartition des études

Le bureau d'études Dumez GTM a pris en charge :

- ◆ les calculs au grands déplacements, efforts généraux en service et en cours de travaux ;
- ◆ la justification de l'ouvrage pendant les phases de transfert et en service ;
- ◆ les calculs et la conception des massifs en Béton des têtes de pylône et des chambres d'ancrage.

Le bureau d'études Mécanique de GTM :

- ◆ le système de mobilité des selles en tête de pylône.

Le bureau d'études réparation des ouvrages d'art Baudin Châteauneuf :

- ◆ la conception et le calcul des pièces définitives de la suspension ;
- ◆ la conception et le calcul des moyens d'accès en tête de pylône et de la passerelle à câble ;
- ◆ la conception des méthodes et des matériels pour le lancement des câbles, le transfert de charge, le démontage de l'ancienne suspension et l'équilibrage de la nouvelle suspension.

Le bureau de méthode du chantier :

- ◆ la conception des moyens d'accès complémentaires (pieds de suspentes, chambres d'ancrages...);
- ◆ la participation aux méthodes pour le lancement de la nouvelle suspension et le démontage de l'ancienne.

### Les calculs généraux

Face à une option "classique" coûteuse et difficile à mettre en œuvre qui aurait consisté à équiper de vérins hydrauliques à la fois l'ancienne et la nouvelle suspension et à assurer un transfert de charge progressif, le BET de Dumez GTM a mis en œuvre dès l'appel d'offres des calculs innovants aux grands déplacements pour justifier et mettre au point la solution pour le remplacement de la suspension. Dans une solution "classique", les déformations des structures en place (pylônes et tablier) restent quasi nulles, cette méthode ne génère donc aucune surcontrainte dans les pylônes et le tablier, et ne nécessite donc pas de calculs de structures élaborés.

A l'inverse, l'utilisation du programme de calcul (GP 3D) de l'entreprise, dédié aux grands ouvrages sus-

pendus et/ou haubanés, a permis de profiter des possibilités de déformation de la structure et de mettre au point un phasage minimisant l'équipement nécessaire et optimisant la sécurité tout au long du transfert.

Le principe de base de cette solution est d'attendre que les nouvelles suspentes soient installées et tendues, l'ouvrage étant alors en sécurité, avant d'intervenir sur l'ancienne suspension fragile. Mais, bénéficiant à un moment donné d'une double suspension, le pont subit des efforts inhabituels : le tablier remonte de près de 2,50 m en son point central et les pylônes s'incurvent de 0,30 m en leur sommet. Puis, au retrait des anciennes suspentes, le pont retrouve sa position initiale. La difficulté réside alors dans le calcul des déformations que peut supporter le pont sans courir de risques, et à doser en conséquence les interventions sur les suspentes neuves et anciennes pendant le transfert. Avantages de cette formule, les équipements sont réduits, la réalisation simplifiée et la sécurité nettement augmentée.

Il a fallu aussi préserver les pylônes des efforts excessifs provoqués par les variations de tension des câbles porteurs anciens et nouveaux pendant le transfert. L'utilisation de selles de déviation mobiles à déplacement contrôlé a permis de minimiser la flexion des pylônes tout en s'affranchissant des déplacements anarchiques des selles sous charge de trafic.

Les calculs en "grands déplacements" ont non seulement servis à justifier l'ouvrage avec sa double suspension pendant toutes les phases du transfert de charge sous les cas de charge réglementaires, mais aussi à anticiper des problèmes de méthode liés aux réglages des câbles, mouvements des selles mobiles sur pylône, non glissement des câbles sur les selles, croisement des nappes, etc. Les calculs pendant les phases de transfert ont été effectués sur un modèle 3D à barres et à câbles, qui intégrait les deux anciennes nappes de câbles et leurs suspentes alors que les quatre nouvelles nappes (deux de chaque côté) étaient modélisées par un seul câble pour chaque côté. Le tablier était modélisé par une file de poutres équivalentes.

## ■ LE MONTAGE DE LA SUSPENSION

### Les dispositifs d'accès

Les conditions de travail sous circulation et la nécessité d'accéder en tous points des câbles ont entraîné la conception de moyens d'accès aux postes de travail spécifiques à l'ouvrage.

Des passerelles entourant la totalité du sommet de chaque pylône ont été mises en place. Constituées de deux moitiés symétriques, d'un poids total de 40 t, elles ont été hissées de nuit sous



Photo G. Forquet (Setra-CTOA)

couverture complète de circulation (photo 4). D'autre part en travée centrale et en travée latérale, des passerelles à câbles ont été tendues. Elles sont constituées de six câbles porteurs enveloppés de paniers grillagés placés bout à bout pour former la passerelle (photo 5).

### La mise en place des câbles

Les câbles sont tirés dans une passerelle à câble d'une rive à l'autre au moyen d'un treuil et d'un câble sans fin. Chaque câble possède son ancrage à une extrémité et une surlongueur à l'autre extrémité.

Une fois l'extrémité du câble arrivée sur l'autre rive, il est ancré à cette extrémité puis mis à sa place dans le faisceau. On procède alors successivement à son réglage en travée rive droite, en travée centrale et enfin en travée rive gauche. Le réglage dans chaque travée se fait à la flèche. Cette opération permet d'obtenir malgré les déviations en tête de pylône et dans les ancrages une même tension dans chaque toron. Rendue délicate par les conditions météorologiques (vent, soleil), elle doit cependant être réalisée avec le plus grand soin. Lorsque le réglage est terminé, le câble est mesuré, son extrémité libre est coupée et culottée (coulage de zinc fondu dans le culot d'ancrage où sont repliés les fils du câble) (photo 6). Enfin, le câble est ancré sur les barres de la chambre d'ancrage rive gauche (photo 2).

Les suspentes sont mises en place avec leur collier au moyen d'une grue pour les plus courtes et hissées avec un chariot qui roule sur la nappe et un treuil pour les suspentes les plus longues.

Photo 5  
Passerelle à câble en travée latérale. Préparation au lancement

*Cable gangway on side section. Preparation for launching*

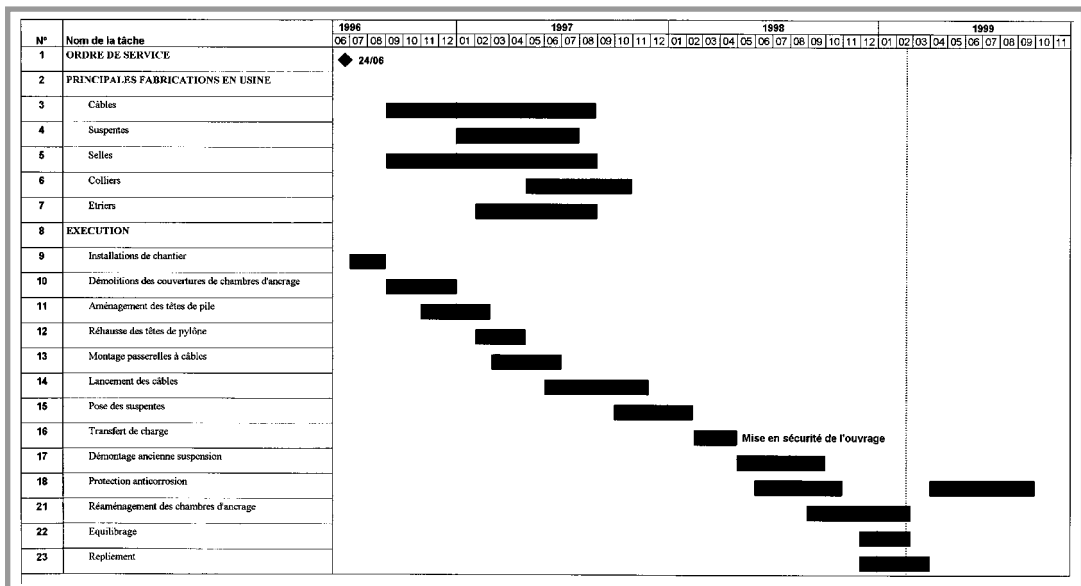


Photo P. Boulen (Fotographic)

Photo 6  
Culot d'ancrage de câble porteur avant coulage de zinc

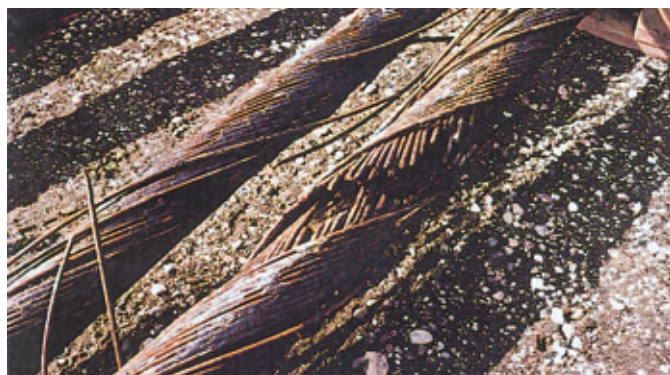
*Anchoring socket for carrying cable before pouring of zinc*





## Planning d'exécution de l'opération

### Work execution schedule



**Photo 7**  
Portion de câble ancien après dépose.  
Rupture de fils jusqu'à la troisième couche...

*Portion of old cable after removal. Breaking of strands down to the third layer...*

## LE TRANSFERT DE CHARGE

Cette opération délicate s'opère en deux grandes phases simultanément à l'amont et à l'aval du pont. Le but de l'opération est de transférer la charge du tablier de l'ancienne suspension à la nouvelle suspension.

La première étape consiste à reprendre environ 60 % de la charge du tablier en vérinant sur la nouvelle suspension et de la régler ainsi à la longueur. Les courses de vérinage sont effectuées en pieds de suspentes au niveau du tablier.

On effectue d'abord l'opération en travée de rive puis en travée centrale. Pour chaque travée, la première phase élémentaire s'effectue en contrôlant les efforts dans chaque suspente afin de s'affranchir des incertitudes géométriques sur la structure existante.

Cette première étape a nécessité l'utilisation de 120 vérins de 30 t dans chaque travée latérale et de 230 vérins de 35 t en travée centrale. A la fin de cette étape, la clef du tablier est relevée de 2,5 m par rapport à sa cote de début de transfert. La seconde étape consiste à dévériner les 40 % restant sur l'ancienne suspension. En travée la-

térale, on relâche totalement les suspentes un par une. En travée centrale, on relâche simultanément toutes les suspentes une sur deux. Cette étape a nécessité l'utilisation de 16 vérins de 50 t et 204 vérins de 30 t. Au cours de cette dernière phase, la clef du tablier redescend de 1 m. Au final, nous avons donc relevé le tablier d'environ 1,5 m pour corriger son évolution depuis la construction d'une part et anticiper le fluage futur des câbles d'autre part.

Pendant toutes ces opérations, les selles mobiles en tête de pylône voient leurs déplacements contrôlés par 16 vérins hydrauliques de 100 t pour limiter les efforts différentiels entre les deux jambes d'un même pylône.

Pour chaque phase élémentaire de ce transfert (45 en vérinage et 24 en dévérinage), les calculs menés par les bureaux d'études déterminaient les efforts et les déplacements tant pour les têtes de pylône que pour les suspentes. Cependant les incertitudes sur la structure existante (module réel des pylônes en béton, géométrie exacte du tablier et gradient de température des pièces de la structure) imposaient la mise en œuvre de systèmes de contrôle pour suivre la géométrie des têtes de pylône, les efforts entre la nouvelle et l'ancienne suspension en tête de pylône, les efforts dans chaque suspente de la travée concernée par la phase de transfert. Tous ces dispositifs ont permis la mise en œuvre de corrections au niveau des déplacements des selles en tête de pylône pour limiter les efforts différentiels entre nouvelle et ancienne suspension.

Enfin, pour la première et dernière phase de transfert de chaque travée le groupement a effectué un équilibrage de l'effort des suspentes.

Toutes ces opérations se sont faites sous circulation. Le transfert de charge a duré au total neuf semaines.

## LE DÉMONTAGE DE L'ANCIENNE SUSPENSION

### Suspentes

Les suspentes anciennes sont descendues verticalement depuis leur position en un seul morceau sur le tablier. Un treuil installé sur le tablier et une poulie de renvoi fixée à la nappe permet cette opération.

L'accès de l'équipe est autorisé à l'aide d'échafaudages "volants" munis de treuils électriques.

### Colliers

Une fois les suspentes démontées, les colliers anciens sont desserrés et glissés jusqu'en position basse de la nappe.

Ils sont alors évacués à la grue.

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Câbles définitifs : 360 u - 2 667 t
- Suspentes : 344 u - 174 t
- Acier moulé : selles, sellettes, colliers, pièces d'enroulement, culots de suspentes : 1808 pièces - 273 t
- Acier forgé fileté : étriers, ancrages : 2 128 pièces - 124 t
- Acier laminé (pièces définitives) : 4 400 pièces - 160 t
- Boulonnerie (pièces définitives) : 39 000 u



**Photo 8**  
Portion de câble ancien après dépose  
*Portion of old cable after removal*

## Câbles

Les anciens câbles sont évacués un par un simultanément côté aval et amont. En travée latérale où la passerelle à câble se trouve sous la nappe, le câble est moulé dans la passerelle et évacué sur le tablier. En travée centrale, un système de goulotte suspendue à la nappe permet cette opération. Après dépose, l'examen visuel des câbles confirmera de très nombreuses ruptures de fils (photos 7 et 8).

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maitrise d'ouvrage**

Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre

#### **Maitrise d'œuvre**

Direction départementale de l'Équipement de Seine-Maritime

#### **Entreprise principale**

Groupement Dumez GTM (mandataire) - Baudin Châteauneuf (pilote technique)

#### **Bureaux d'études**

- BET Dumez GTM
- BET Baudin Châteauneuf

#### **Principaux fournisseurs**

- Baudin Châteauneuf : câbles
- Tréfileurope : suspentes
- Manoir Industries, Hachette et Driout, Feursmétal, Ferry Capitain : acier moulé
- Enerpac, AMS : matériel hydraulique

### ABSTRACT

#### Renovation of Tancarville bridge. Replacement of suspension

*P. Pous, A. Grange, D. Colombot, E. Joly*

After the breaking of one of the 60 elementary strands of the Tancarville Bridge, the Le Havre Chamber of Commerce and Industry initiated, in 1995, a far-reaching operation under the control of the regional Departmental Directorate of Infrastructures (DDE), consisting of the replacement of the suspension on one of France's biggest suspension bridge, without disturbing traffic. The Dumez GTM – Baudin Châteauneuf consortium, awarded the contract, thus applied a solution consisting in duplicating the old suspension. Once the new cables and the new hangers were in place, load transfer from the old suspension to the new could be accomplished while subjecting the structure of the bridge - towers and deck - to loads based on careful calculations, in order to minimise the hydraulic equipment and accelerate the restoral of the structure to safe operation. Once the old suspension was unloaded, the operation also included its dismantling and the painting of new elements.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Sanierung der Brücke von Tancarville Austausch der Beseilung

*P. Pous, A. Grange, D. Colombot, E. Joly*

Im Anschluß an den Buch einer der 60 Elementarlitzen der Brücke von Tancarville hat die Industrie- und Handelskammer von Le Havre 1995 eine umfangreiche Sanierungsmaßnahme unter Federführung der departementalen Straßenbaubehörde veranlaßt, und zwar die Erneuerung der Beseilung der größten französischen Hängebrücke bei Aufrechterhaltung des Verkehrs. Die hiermit beauftragte Arbeitsgemeinschaft Dumez GTM – Baudin Châteauneuf hat ihre Lösung in Form einer Verdoppelung der bestehenden Beseilung umgesetzt. Als die neuen Kabel und Hänger montiert waren, konnte dank der Berechnungen die Last unter Beanspruchung der Brückenstruktur – Pylone und Fahrbahntafel – von der alten Beseilung auf die neue übertragen werden, so daß hydraulisches Mate-

rial gespart und die Wiederherstellung der Bauwerkssicherheit beschleunigt werden konnten. Sobald die alte Beseilung entlastet war, wurde sie im Rahmen der Maßnahme demontiert und die neuen Komponenten angestrichen.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### Renovación del puente de Tancarville. La sustitución de la suspensión

*P. Pous, A. Grange, D. Colombot y E. Joly*

A raíz de la ruptura de uno de los 60 cables elementales del puente de Tancarville, la Cámara de Comercio y de Industria de Le Havre inició, en 1995 una operación de gran envergadura, bajo la dirección contractual y técnica del Ministerio de Obras Públicas de Francia (DDE), que ha consistido en sustituir la suspensión del mayor puente colgante francés, continuando el tráfico rodado. La agrupación de empresas Dumez-GTM - Baudin Châteauneuf, titular del contrato, ha puesto en aplicación una solución que ha consistido en duplicar la suspensión antigua. Una vez instalados los nuevos cables y los nuevos tirantes verticales, la transferencia de cargas de la antigua suspensión a la nueva se ha podido efectuar solicitando la estructura del puente - torres y tablero - debido a los cálculos de los grandes desplazamientos, para reducir al mínimo el material hidráulico y acelerar la seguridad de la estructura. Una vez descargada la antigua suspensión, la operación ha incluido también su desmontaje y la pintura de los nuevos elementos.