

**TECHNIQUE DE REPARATION
ET RENFORCEMENT DES
OUVRAGES D'ART**

**Mr. A. YOUSFI
(SOCIETE MEGEC)**

RESUME

Les ouvrages d'art sont aussi périssables, et leur maintenance est tout aussi importante que celle des routes. Le suivi de l'état des ouvrages d'art, et les techniques de leur réparation, permettent d'allonger efficacement la durée de leur service, évitant par là les coûts prohibitifs de leur reconstruction neuve. Ces techniques permettent aussi de sauvegarder des ouvrages d'art dégradés et classés parmi le patrimoine historique.

Les dégradations courantes des ouvrages d'art sont: les affouillements et déstabilisations des fondations, l'éclatement du béton d'enrobage, la corrosion des aciers, les fissurations des structures, l'usure des appuis ... Les techniques de réparation peuvent être: la consolidation du sol par injection de coulis de ciment, la superposition de structures nouvelles en béton armé ou en tirants de béton précontraint, la réfection de l'étanchéité, le rétablissement du béton d'enrobage par du béton projeté ou par du mortier de résine, le collement de plats métalliques, le renouvellement des appuis, le colmatage des fissures par injection de composé de résine.

1/ INTRODUCTION

Dans la présente communication nous exposons succinctement les techniques de réparation des ouvrages d'art. Et quand nous parlons ici d'ouvrage d'art, nous pensons principalement aux ponts.

Mais des techniques analogues peuvent être adaptées et appliquées aux autres ouvrages, tels que bâtiments spéciaux, silos, grands réservoirs hydrauliques, etc ...

2/ LES DEGRADATIONS COURANTES DES OUVRAGES D'ART AU MAROC

La plupart des ouvrages d'art au Maroc, qu'ils soient routiers ou ferroviaires, ont des structures similaires, avec des portées variables de 10 à 35 m, et 2 à 4 poutres en béton armé sous-chaussée. Cependant, quelques ouvrages d'art ont une structure en maçonnerie avec voûte. Les dégradations de ces derniers sont en général moins prononcées que celles des ouvrages d'art en béton armé.

Un pont se compose généralement d'un tablier, de deux culées, et de piles. Et les dégradations peuvent concerner une ou plusieurs de ces composantes du pont. Ces dégradations peuvent être les suivantes:

- Affouillement des culées ou des piles;
- Eclatement du béton armé du tablier, ou corrosion des aciers,
- Fissuration des structures;
- Usure des sommiers des appuis;
- Déstabilisation des fondations par tassement du sol, son glissement, ou sa rotation.

3/LES INTERVENTIONS DE REPARATION

Les interventions de réparation peuvent porter sur les éléments suivants:

- Protection ou renforcement du tablier ou des appuis;
- Renforcement des fondations;
- Vérification de l'étanchéité du tablier
- Renforcement et protection des culées et des piles;
- Réparation des abouts de poutres avec usage provisoire de corbeaux en béton armé;
- Colmatage des fissures par injection de composés résineux;
- Renforcement des armatures de consoles;
- Réparation des intrados des hourdis.

4/LES TECHNIQUES DE REPARATION

Les techniques de réparation de ces dégradations sont diversifiées, combinables et évolutives. Chaque cas concret d'ouvrage d'art dégradé nécessite l'élaboration d'un ensemble de techniques de réparation adéquates. Le bureau d'études techniques se charge des calculs nécessaires pour justifier la pertinence et l'efficacité des solutions préconisées.

Dans ce qui suit, nous passons en revue les techniques de réparations les plus usitées.

a) Techniques de réparation des fondations:

En cas d'affouillement menaçant la stabilité des fondations, des culées ou des piles de l'ouvrage d'art, la réparation peut recourir aux techniques suivantes:

- Consolidation du sol sous-jacent par injection sous-pression de coulis adéquat de ciment;
- Recherche et utilisation d'un niveau de sol plus profond et plus stable, avec remise en état des fondations;

- Superposition de structures nouvelles en béton armé sur les structures anciennes pour renforcer leurs assises;

- Remise en état du système de drainage des eaux de pluie;

- Réfection du système de protection contre l'érosion hydraulique par: enrochement, murs en maçonnerie contre affouillement, radier en maçonnerie, parement en béton hydraulique, lits de gabions, contreforts, etc

b) Techniques de réparation des structures de pont en béton armé:

Les dégradations peuvent se présenter sous la forme de:

- Eclatement du béton;
- Corrosion des aciers;
- Erosion due à l'eau;
- Fissuration.

Les causes de ces dégradations peuvent provenir de:

- Vieillesse de l'ouvrage concerné;
- Défaut de conception ou de construction;
- Effet dynamique des surcharges;
- Insuffisance des résistances aux surcharges;
- Action de l'eau de ruissellement ou d'infiltration.

Les techniques de réparation usuelles de ces dégradations sont les suivantes:

- Reconstitution du béton éclaté par un nouveau enrobage en béton projeté, soit par voie humide ou par voie sèche;

- Rétablissement du béton d'enrobage des armatures par un mortier à base de résine époxydique;

- Renforcement par plats métalliques collés aux bétons;

- Enrobage ou chemisage des structures qui se sont révélées insuffisantes, par superposition d'éléments additionnels en béton précontraint (Procédés Freyssinet);

- Traitement des aciers corrodés pour stopper ou éliminer le phénomène de corrosion;

- Remise en état du système d'étanchéité de l'ouvrage par: drainage des eaux de pluie, installation de gargouilles, caniveaux de rejet des eaux à l'extérieur de l'ouvrage, réparation des joints de chaussée.

- Remplacement des appareils d'appui dégradés ou n'assurant plus leur rôle permettant les variations linéaires de longueur, après levage du tablier au moyen de vérins plats;

- Colmatage des fissures et injection de composé à base de résine.

c) Techniques de réparation des appuis et des poutres:

- Soulèvement et suspension du tablier au moyen de vérins pour accéder aux appuis et les renouveler;

- Renforcement par plats métalliques scellés;

- Remplacement des appuis en plomb anciennement utilisés par des appuis en néoprène fretté.

d) Techniques de réparation de structures de pont en maçonnerie:

Nous avons traité plusieurs ponts en maçonnerie, dont par exemple:

- Le pont Moulay Idriss Zerhoune, sur Oued Chench, RP: 28, PK 14+500;
- Le pont Portugais à Kasbate Tadla, sur Oum-Er-Rabia, RP: 13, PK 1+370;
- 5 ponts sur la Route Principale numéro 8.

Les dégradations relevées sur les ponts en maçonnerie concernent habituellement:

- Terrassement des fondations;
- Fissuration perpendiculaire aux génératrices des voûtes;
- Détachement du mortier .

Les causes courantes de ces dégradations peuvent provenir de:

- Effets dynamiques des surcharges;
- Poussées importantes du sol sur les murs tympan;
- Vieillesse de l'ouvrage;
- Action de l'eau de ruissellement ou d'infiltration.

Les remèdes de ces dégradations se basent sur les techniques suivantes:

- Consolidation du sol des fondations par injection sous pression de coulis de ciment et remise en état de ses fondations;

- Introduction de tirants en béton précontraint à l'intérieur du corps des voûtes, et ceci de façon parallèle aux génératrices des voûtes. Cette technique nécessite des moyens de forage de précision, tels que les guidages intérieurs, pour faire coïncider deux à deux les forages percés des deux côtés des voûtes

- Injection des joints de maçonnerie au moyen d'un coulis de ciment;

- Réfection du système d'étanchéité de l'ouvrage.

5/ ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC DES OUVRAGES D'ART DEGRADEES

Pour établir le diagnostic d'un ouvrage d'art dégradé, le bureau d'études techniques a besoin entre autres de collecter les informations précises suivantes:

- L'examen direct des structures dégradées;

- Le relevé précis des dégradations, les mesures des fissures, le repérage des endroits de fuite d'eau, les éclatements de béton, les détériorations des équipements de l'ouvrage d'art;

- L'examen des fondations, du sol d'assise, de la portance du sol;
- L'observation des surcharges d'exploitation;
- Les plans de coffrage et de ferrailage;
- La nature du béton et des aciers utilisés.

Après avoir recueilli ces données de base, le bureau d'études techniques procède à l'analyse des causes probables des dégradations, préconise ensuite les remèdes envisageables, et évalue les coûts des réparations projetées.

Mais parfois, il devient difficile d'établir un diagnostic. Nous citons par exemple le cas où les plans et les notes de calcul de l'ouvrage d'art concerné sont égarés à cause des changements successifs survenus dans l'Administration. Il devient alors nécessaire de recourir à des relevés géométriques de l'ouvrage d'art, de ses armatures, et d'analyser toutes ses parties critiques, y compris ses fondations. Ce qui pourrait devenir difficile par la présence de l'eau.

Chaque fois que des anomalies sont observées au niveau des fondations ou des semelles, ou que le maître de l'ouvrage demande un élargissement de la dalle comme c'est souvent le cas, il devient impérieux de bien connaître les caractéristiques du sol de fondation pour s'assurer des tolérances des surcharges transmises aux fondations.

L'établissement du diagnostic nécessite la connaissance des résistances de rupture des matériaux utilisés (béton et aciers) pour évaluer et préconiser les marges sécuritaires admissibles. Ces données sont utiles pour établir les solutions possibles de remise en état de l'ouvrage d'art concerné.

6/ CHOIX ENTRE LA REPARATION OU LA RECONSTRUCTION D'UN OUVRAGE D'ART

C'est l'étude de l'ouvrage d'art dégradé, et surtout son analyse technicoéconomique, qui peut faire opter soit pour sa destruction et son remplacement par un autre neuf, soit par sa réparation et son renforcement.

Les ressources financières ou budgétaires disponibles, et aussi la nouvelle fonctionnalité exigée de l'ouvrage d'art concerné, jouent aussi un rôle déterminant. Parfois, certains ouvrages d'art ne peuvent être détruits et reconstruits tout neuf, soit parce que la configuration du terrain ne permet pas une déviation de la circulation, soit parce que la continuité du service de circulation est impérative.

7/ LES CAS OU LES RENFORCEMENTS SONT ENVISAGEABLES

Les interventions de renforcement sont envisageables dans les cas suivants:

- Dégradation ne menaçant pas la stabilité de l'ouvrage;
- Difficulté ou inacceptabilité de reconstruction d'un ouvrage tout neuf;
- Coût relatif de réparation modéré;
- Délais d'étude et de réalisation d'un ouvrage d'art neuf incompatible avec la nécessité de le rouvrir rapidement à la circulation.

Dans les cas contraires, il devient plausible d'envisager la destruction de l'ouvrage dégradé et de le remplacer par un autre neuf.

La vérification du comportement du tablier sous des conditions courantes d'exploitation de l'ouvrage peut mettre en évidence une insuffisance des armatures de flexion. Dans ce cas, un renforcement du tablier est envisageable par l'un des procédés suivants:

- Soit par adjonction de plats métalliques scellés (brevets l'Hermite), dans le cas où la portée n'excède pas 7 mètres de longueur;

- Soit par introduction d'éléments de précontrainte qui contrecarrent et réduisent les charges propres et les surcharges d'exploitation .

Les procédés de renforcement sont souvent relativement rapides et peu coûteux. Ils permettent de rallonger de façon importantes la durée de service des ouvrages d'art.

EXEMPLES DE REPARATION D'OUVRAGE D'ART

PONT SUR OUED ESPALMADERO, RP 39, PK 4+500

PRESENTATION DU PONT

Il a été construit au temps du protectorat espagnol sur le nord du Maroc. C'est un pont à structure hyperstatique, à 3 travées, ayant des longueurs respectivement de: 3,7 m; 16,25 m & 5,7 m.

Les travées de rive sont constituées de dalles en béton mixte, et reposent sur des appuis de manière rigide.

La travée centrale se constitue d'une dalle qui repose sur une arche par l'intermédiaire de 6 voiles en béton armé.

Toutes les liaisons du pont sont rigides.

DEGRADATIONS RELEVÉES

Les piles et culées étaient gravement fissurées et menaçaient la stabilité de l'ouvrage.

Le tablier présentait aussi des fissures longitudinales.

Les défauts de structures relevées proviennent des liaisons rigides des appuis, qui entravaient les elongations linéaires du tablier, développant ainsi des efforts importants au niveau des sommiers des piles et des culées, et causant des fissurations.

L'ouvrage était dépourvu de système de protection, ce qui favorise la corrosion des aciers et l'éclatement du béton.

REMEDE DE REPARATION & DE RENFORCEMENT DE L'OUVRAGE

L'Administration des Travaux Publics a fixé les objectifs suivants: sauvegarder l'ouvrage menacé d'effondrement, tout en élargissant la chaussée de 4,3 m à 5,5 m pour fournir deux voies de circulation.

La solution proposée par notre bureau d'études techniques spécifiait de:

- Conserver la voûte;
- Conserver la dalle du tablier et le renforcer;
- Réfection des piles en béton armé;
- Chemisage des culées;
- Installation de système d'appui isostatique à l'endroit des culées.

TECHNIQUE DE REPARATION

Nous avons été amenés à utiliser des techniques spécifiques nouvelles, en utilisant des systèmes d'appui élastiques aux endroits des culées, au moyen d'appareils en néoprène fretté.

a) Système d'appui:

La réalisation a nécessité:

- Le levage et la suspension de la travée de rive du tablier;
- La réfection du sommier du tablier et l'aménagement des appareils d'appuis;
- La réalisation d'abouts solidaire du tablier;
- La repose du tablier sur les appuis.

b) Réfection des voûtes en béton armé:

- Levage et suspension du tablier;
- Démolition des piles existantes;
- Reconstruction des appuis et voiles en béton armé.

c) Superposition de structures de béton armé nouvelles à d'autres anciennes:

Le monolithisme des structures anciennes et nouvelles superposées a été réalisé au moyen de:

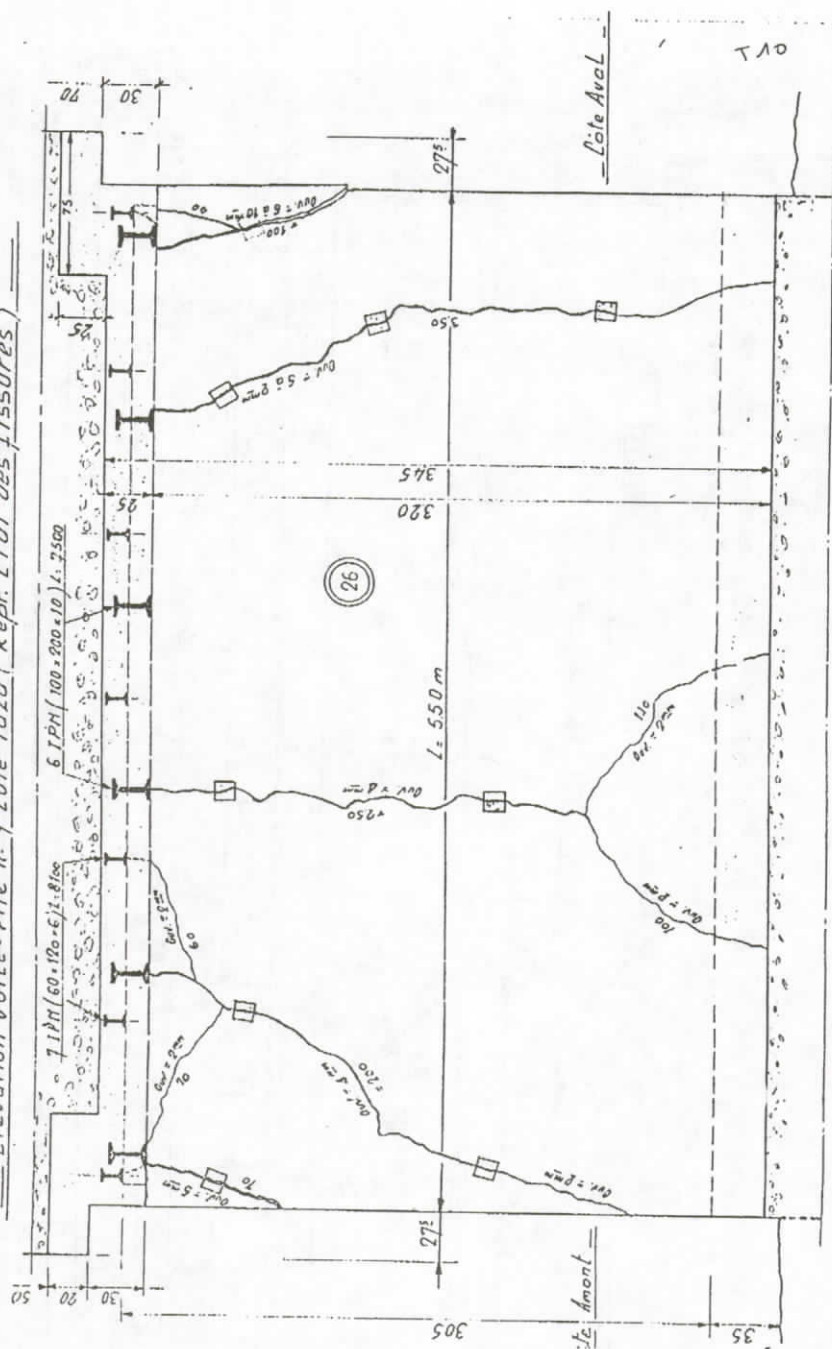
- Scellement d'armature de liaison au mortier de résine;
- Utilisation de colle à base de résine appliquée sur le béton ancien.

d) Réfection du système d'étanchéité et drainage des eaux de pluie:

- Mise en place de gargouille;
- Réfection d'étanchéité;
- Mise en place de joint de chaussée;
- Placement de corniches et garde-corps.

Pont-Cadre d'Espalmero sur la R^{te} 39 au PK. 4+500

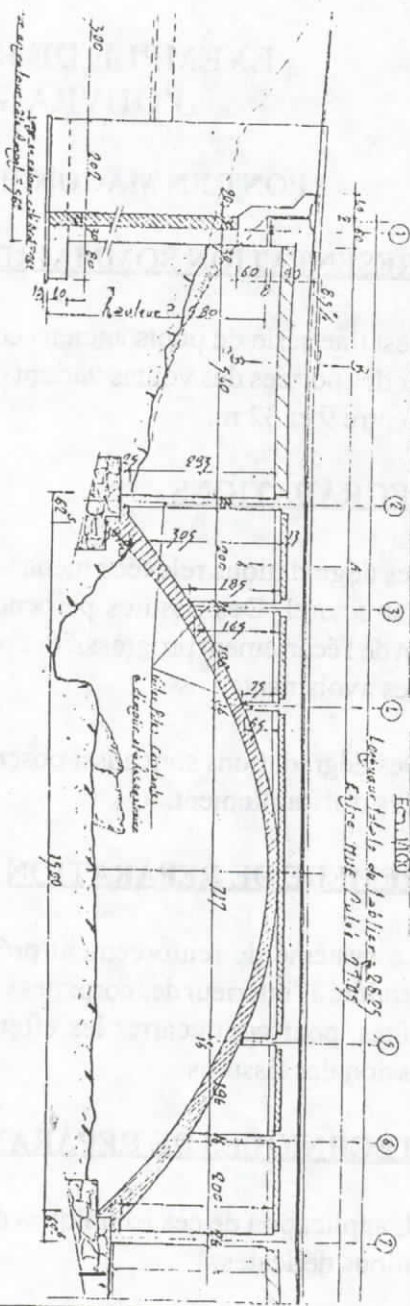
Elévation Voile - Pile n° 7 Côte Tazo (Repr. Etat des Lissures)



PONT SOK L'OUED ESPALMADERO
RD 39A. PH. 4-500

COUPE LONGITUDINALE

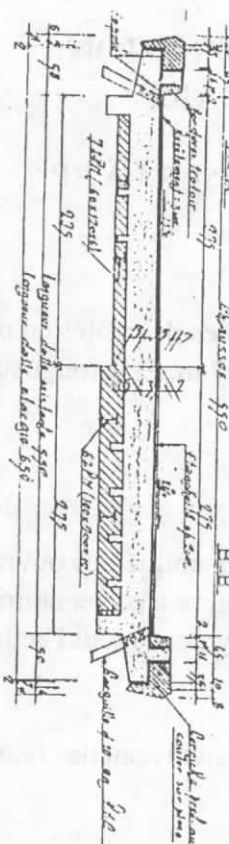
Eq. (10)



1/2 COUPE TRANSVERSAL

2. Ech. 1/50

1/2 COPE TRANSVERSE



LEGENDE

Structure Exits only

Pluctura in equine

EXEMPLE DE REPARATION D'OUVRAGE D'ART

PONT EN MACONNERIE SUR LA RP 8

PRESENTATION SOMMAIRE

C'est une série de ponts anciens constitués de voûtes en maçonnerie. La longueur des portées des voûtes varient de 3 à 7 m. Et la longueur des ouvrages se situe entre 9 et 32 m.

DEGRADATIONS

Les dégradations relevées menacent la stabilité des ouvrages. Elles sont d'ordre structurel. Des fissures perpendiculaires aux génératrices des voûtes résultent de l'écartement progressif des murs tympans sous l'action des poussées des terres avoisinantes.

Des dégradations sont aussi observées au niveau des fondations qui sont menacées d'affouillement.

REMEDE DE REPARATION ET DE RENFORCEMENT

Le système de renforcement préconisé consiste à placer des tirants de précontrainte à l'intérieur des corps des voûtes de façon parallèle aux génératrices des voûtes, pour contrecarrer les effets des poussées des terres et stopper la progression des fissures.

TECHNIQUES DE REPARATION

L'application de ces techniques de réparation spécifiques a nécessité des précautions délicates.

EXEMPLE DE REPARATION ET RENFORCEMENT PONT DE MOULAY IDRIS ZERHOUNE SUR LA RP 28; AU PK 15+300

PRESENTATION DU PONT

Le pont de Moulay Idriss Zerhoune est très ancien. Il a été construit sous le règne de Moulay Idriss Premier.

Il comporte une seule voûte de 7 m d'ouverture, enjambant le lit de l'oued Chench. Les murs tympans sont très longs avec 180 m. La plate-forme de l'ouvrage est de 10,40 m entre murs garde corps. La structure est massive et robuste. La longueur totale de l'ouvrage est de 180 m (longueur des tympans).

DEGRADATIONS DE L'OUVRAGE

- Grande fissure verticale en aplomb du piédroit de la voûte;
- Grandes fissures dans la voûte, profondes et larges parfois de 5 cm, dans les sens diagonal et transversal;
- Affouillement très important du dessous du piédroit de la voûte sur la rive droite;
- Effondrement d'un grand bloc du renfort du piédroit de la voûte, à cause du grand affouillement à sa base, sur la rive droite;
- Grande fissure horizontale en tête de la voûte côté aval à cause du tassement de la voûte à la suite de l'important affouillement sus-indiqué, cette grande fissure se prolonge horizontalement au dessus du renfort côté aval;
- Absence de système de drainage des eaux de pluie du tablier;
- Les talus en remblais autour de l'ouvrage ne sont pas protégés.

CAUSES DES DEGRADATIONS

L'affouillement important à la base a causé un déplacement du piédroit de la voûte (côté rive droite), provoquant des fissures importantes dans la voûte.

L'absence d'un système de drainage des eaux de ruissellement et d'infiltration a favorisé les autres dégradations.

REMEDES & RENFORCEMENTS PROPOSES

- Reprofilage et canalisation du lit de l'oued;
- Réalisation de protections contre l'affouillement: radier en maçonnerie, chape en béton hydraulique, remplissage de rochers de la parties affouillée;
- Drainage des eaux du tablier (pente, gargouilles, caniveaux);
- Reconstruction de l'appui du piédroit de la voûte en gros béton par projection et injection;
- Colmatage des fissures par injection de résine ou de mortier de ciment;
- Réalisation du système de renforcement de la voûte par précontrainte additionnelle (percé dans la voûte).

PK : 15 + 300

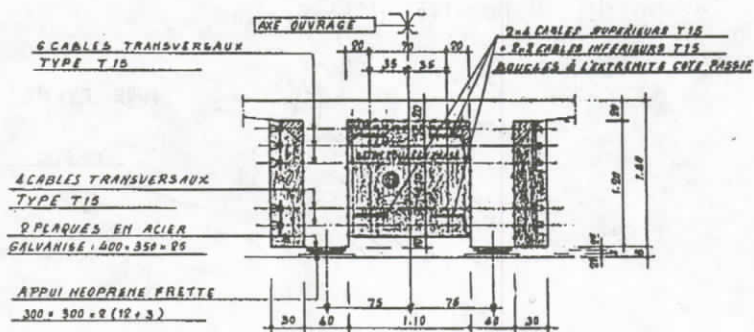


COUPÉ TRANSVERSAL - SOLUTION PRÉCONTRAINTE

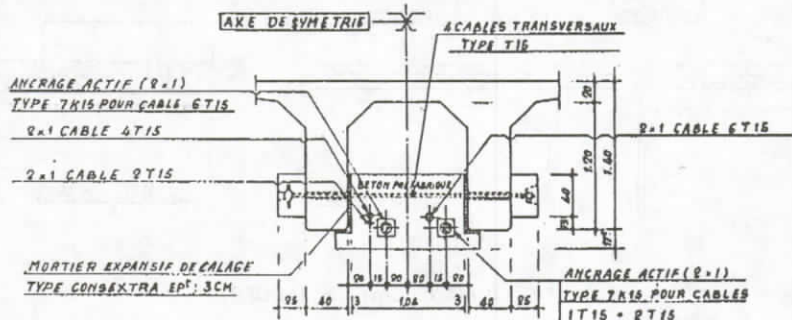


COUPE: A-A SUR BLOC D'ANCRAGE ABOUT

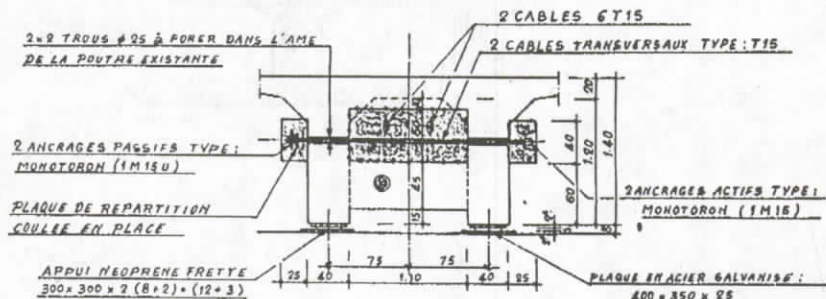
110



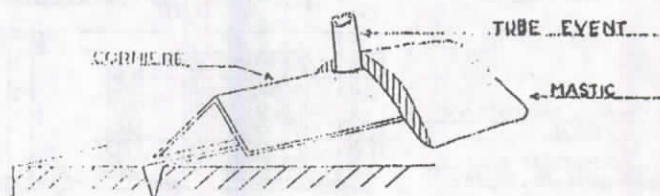
VUES ABOUTS DEVIATEURS BA9
1/2 COUPE: B-B - 1/2 COUPE: C-C



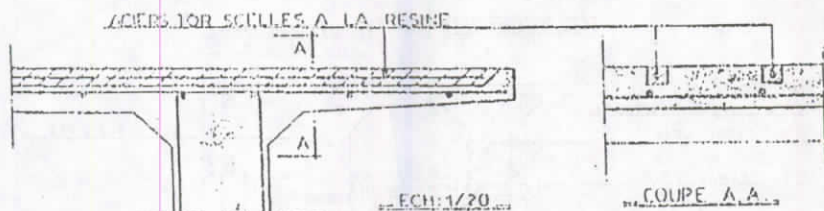
COUPE D-D SUR DEVIATEUR HAUT



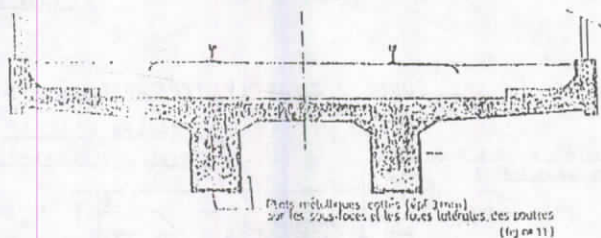
Détail du dispositif d'injection



Principe de renforcement



COUPE TRANSVERSALE DE TABLIER



EXEMPLE DE REPARATION ET RENFORCEMENT PONT PORTUGAIS SUR OUED OUM-ER-RBIA RP 13; PK :1+370

PRESENTATION DU PONT

L'ouvrage est un pont portugais en maçonnerie construit vers 1687. Il est constitué de plusieurs voûtes, dont 3 sont de grands diamètres et enjambent le lit de l'oued. Les autres sont de diamètre plus petits et traversent les berges de l'oued.

Ouverture de la grande voûte	:	6,00 m
Hauteur du remblais sous clef	:	1,60 m
Largeur de la plate-forme	:	7,25 m
Longueur de l'ouvrage	:	104 m
haussée	:	5,65 m

Les structures de l'ouvrage et ses matériaux constitutifs font preuve de son ancienneté. Trois voûtes ont 6 m d'ouverture, et sept voûtes ont 3 m d'ouverture.

DEGRADATIONS

Les principales dégradations sont les fissures (longitudinales, transversales et diagonales) et les affouillements des piédroits des voûtes.

D'autres fissures sectionnent les murs tympans en aplomb de la voûte.

Les extrémités des voûtes sont érodées. Le radier est désagréé sous les voûtes.

CAUSES DES FISSURES

Les fissures sont engendrées par des contraintes de traction perpendiculaires aux plans de ces fissures. Ces contraintes sont dues aux poussées des remblais sur la voûte et aux surcharges de la circulation. Ces poussées sont transmises aux murs tympans qui s'écartent ainsi de leurs positions initiales, créant des fissures de 5 à 15 cm.

REMEDE DE REPARATION ET RENFORCEMENT

- Reconstitution des appuis des piédroits des voûtes principales en gros béton hydraulique par projection, injection, et chemisage;

Colmatage des fissures par injection de composé de résine ou de mortier de ciment;

- Réalisation d'un système de renforcement des voûtes par percement des voûtes et introduction de précontrainte additionnelle qui contrecarre les charges permanentes et les surcharges;

- Reprofilage de l'oued et canalisation de son lit vers les voûtes principales; enlèvement des obstacles pouvant gêner l'écoulement normal des eaux;

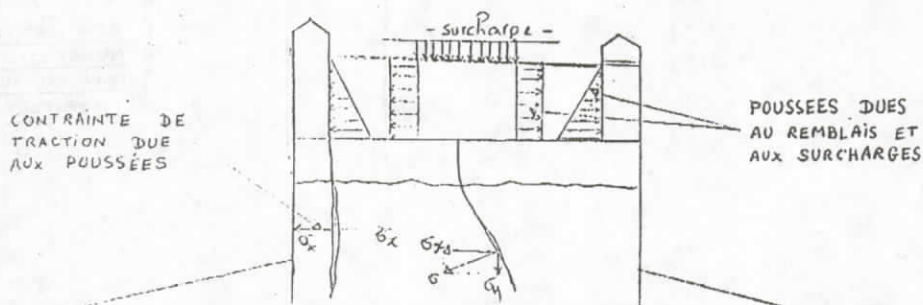
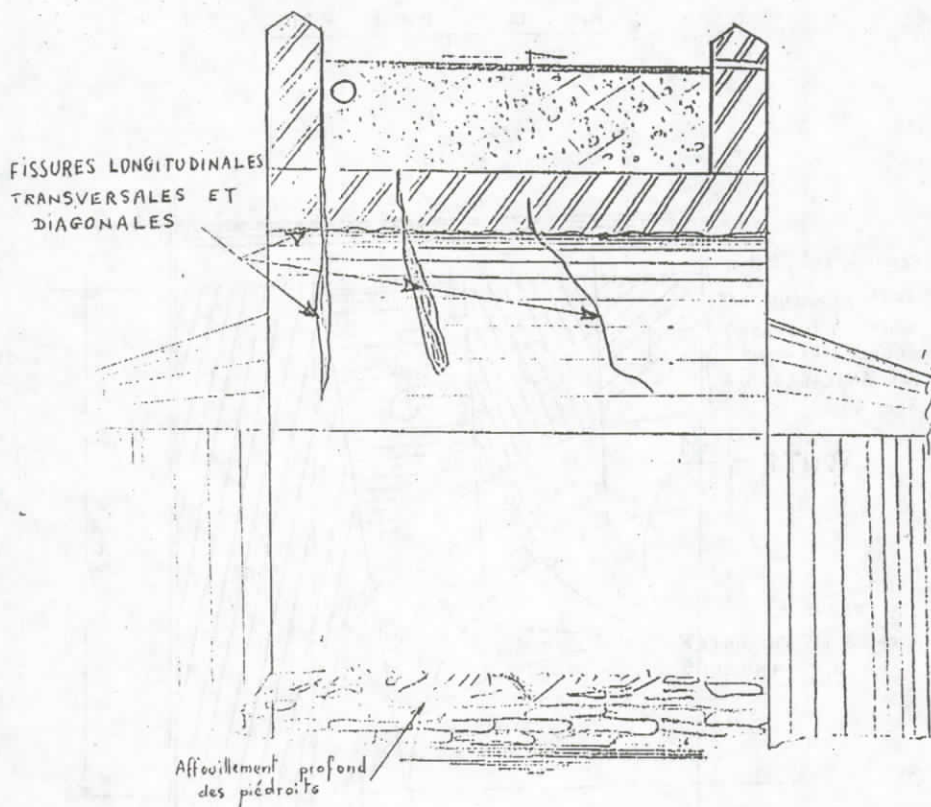
- Construction d'un système de protection contre les affouillements;

- Drainage des eaux de pluie, par pente, caniveaux et gargouilles;

- Reconstitution du radier sous les trois voûtes principales;

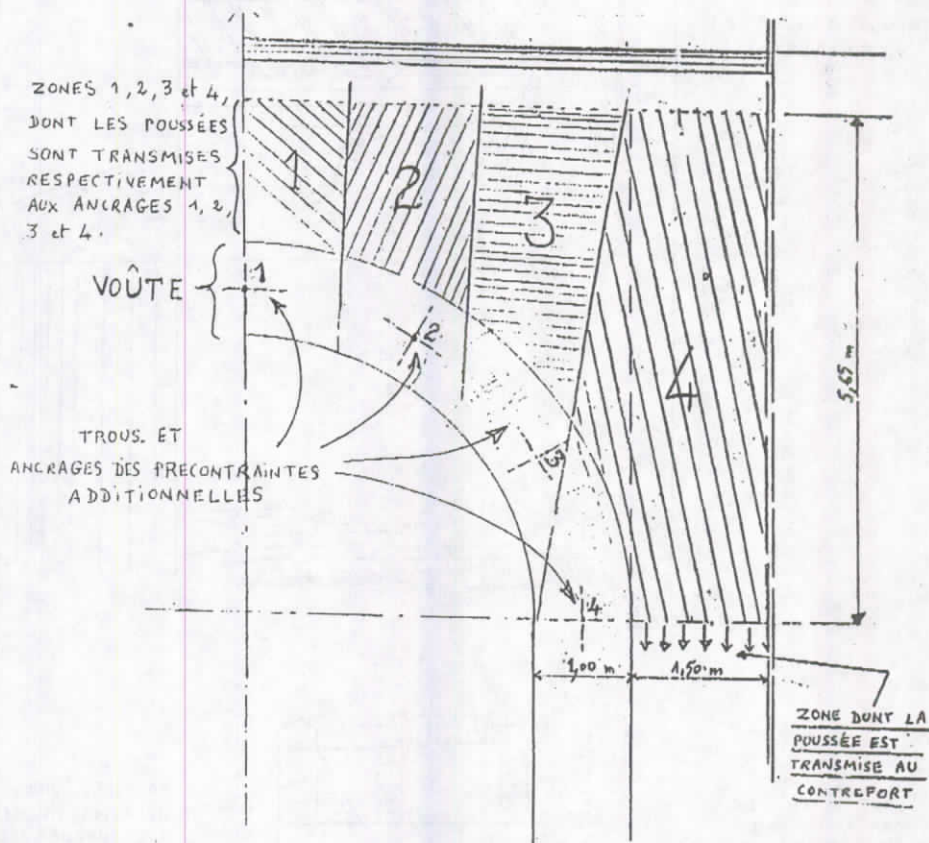
- Enduit à la chaux pour conserver l'aspect historique et esthétique de l'ouvrage.

DEGRADATIONS DU PONT PORTUGAIS
SUR QUED OUM-ER-RBIA R.P. : 13 , PK. : 1 + 370

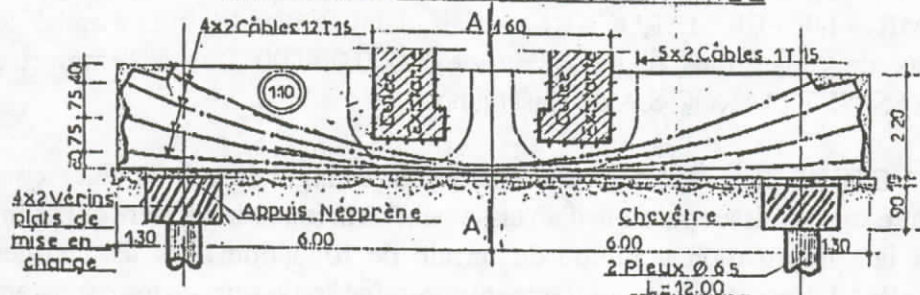


RENFORCEMENT DU PONT PORTUGAIS
SUR OUED OUM-ER-ABIA

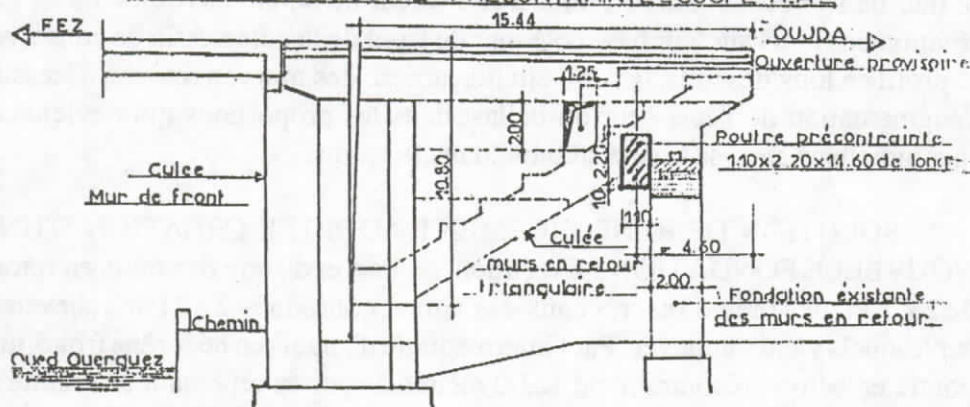
R.P. : 13 , P.K. : 1 + 370



ELEVATION POUTRE PRECONTRAINTE



IMPLANTATION POUTRE PRECONTRAINTE COUPE A.A.



Ayant constaté des désordres sur la culée côté Oujda de l'ouvrage situé au PK 97 + 100 de la voie ferrée Fès-Oujda. L'OFFICE NATIONAL DES CHEMINS DE FER MAROCAIN confiait, début Juillet 1979, le marché de travaux de réparations d'une valeur de 1.000.000,00 Dhs à l'entreprise FREYSSINET MAROC S.A de Casablanca.

DÉSORDRES : les deux murs en retour triangulaires de la culée côté Oujda se sont affaîssés par suite d'un tassement de la fondation arrière qui serait dû à la déformation continue du terrain de fondation sous les charges appliquées. L'importance de ce tassement a entraîné l'ouverture du joint séparant le mur de front des murs en retour d'une valeur de 30 cm environ en tête, par rotation des murs sur leur base côté mur de front de la culée. Afin de conserver le profil en long des rails, la dénivellation arrière des murs en retour a nécessité l'augmentation de l'épaisseur du ballast dans les proportions qui deviennent incompatibles avec sa bonne stabilité dans le temps.

SOLUTION DE RENFORCEMENT ADOPTÉE : CREATION D'UNE NOUVELLE FONDATION :

Exécution de part et d'autre des murs en retour de 2 x 2 pieux forés Ø 65 ancrés dans les marnes, couronnés 2 à 2 par 2 chevêtres sur lesquels vient s'appuyer, par l'intermédiaire d'appuis en néoprène frotté, une poutre en béton précontraint de 12,00 mètres de portée reprenant en totalité la réaction arrière venant des murs en retour. Le transfert de la réaction d'appui de l'ancienne fondation à la nouvelle s'effectue par mise en charge de pieux au moyen de 2 x 4 blocs de 2 vérins plats Ø 350 disposés sur les chevêtres autour des appuis néoprène.

Ayant constaté des désordres sur la culée côté Oujda de l'ouvrage situé au PK 97 + 100 de la voie ferrée Fès-Oujda. L'OFFICE NATIONAL DES CHEMINS DE FER MAROCAIN confiait, début Juillet 1979, le marché de travaux de réparations d'une valeur de 1.000.000,00 Dhs à l'entreprise FREYSSINET MAROC S.A de Casablanca.

DESORDRES : les deux murs en retour triangulaires de la culée coté Oujda se sont affaîssés par suite d'un tassement de la fondation arrière qui serait dû à la déformation continue du terrain de fondation sous les charges appliquées. L'importance de ce tassement a entraîné l'ouverture du joint séparant le mur de front des murs en retour d'une valeur de 30 cm environ en tête, par rotation des murs sur leur base coté mur de front de la culée. Afin de conserver le profil en long des rails, la dénivellation arrière des murs en retour a nécessité l'augmentation de l'épaisseur du ballast dans les proportions qui deviennent incompatibles avec sa bonne stabilité dans le temps.

SOLUTION DE RENFORCEMENT ADOPTÉE CREATION D'UNE NOUVELLE FONDATION : Exécution de Part et d'autre des murs en retour de 2 x 2 Pieux forés 65 ancrés dans les marnes, couronnés 2 à 2 Par 2 chevêtres sur lesquels vient s'appuyer, Par l'intermédiaire d'appuis en néoprène frotté, une poutre en béton précontraint de 12,00 mètres de portée reprenant en totalité la réaction arrière venant des murs en retour. Le transfert de la réaction d'appui de l'ancienne fondation à la nouvelle s'effectue par mise en charge de pieux au moyen de 2 x 4 blocs de 2 vérins plats 350 disposés sur les chevêtres autour des appuis néoprène.