

Renforcement des ouvrages par précontrainte

Autor(en): **Lecroq, Philippe / Poineau, Daniel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **11 (1980)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-11382>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



IX

Renforcement des ouvrages par précontrainte

Sanierung mit Hilfe von Vorspannung

Reinforcement by Prestressing

PHILIPPE LECROQ

Ingénieur Divisionnaire TPE

Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon

Bourgoin-Jallieu, France

DANIEL POINEAU

Ingénieur Divisionnaire TPE

Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

Bagneux, France

RESUME

La présente communication résume l'expérience acquise depuis 1973 sur la réparation d'une trentaine d'ouvrages en béton précontraint. Le texte décrit les techniques utilisées et leur technologie de mise en œuvre (câbles filants rectilignes ou non, étriers actifs. . .) et précise les hypothèses de calcul retenues en fonction des types de désordres.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie fasst die Erfahrungen zusammen, die seit 1973 bei der Reparatur von etwa dreissig Spannbeton-Brücken gesammelt worden sind. Der Text beschreibt die angewandten Techniken und die Technologien (gerade oder gekrümmte Kabel, aktive Bügel . . .) und zeigt, wie die Berechnungsgrundlagen anhand der Schadentypen präzisiert werden.

SUMMARY

In this contribution, the experience acquired since 1973 through the reinforcement of some thirty prestressed concrete structures is summarized. The applied techniques and their implementation technologies (cables, rectilinear or not, active stirrups, etc.) are described and the design assumptions, retained as a function of the specific disorders, are specified.



1. INTRODUCTION

Les fissurations, parfois importantes, constatées sur certains ouvrages en béton précontraint, et plus particulièrement sur les ponts en encorbellement, ont conduit à perfectionner la réglementation technique et ont nécessité de mettre au point des techniques de réparations qui font l'objet du présent exposé. Ces désordres, dus à des causes diverses (redistribution des efforts par fluage, gradient thermique, diffusion de la précontrainte, poussée au vide des câbles, etc.), ont engendré essentiellement trois types de fissures :

- Fissures verticales ou paraverticales traduisant une insuffisance de résistance vis-à-vis des moments fléchissants.
- Fissures inclinées dans les âmes traduisant une insuffisance de résistance à l'effort tranchant.
- Fissures longitudinales dans le hourdis traduisant une insuffisance de résistance à la flexion locale sous l'effet de la poussée au vide. Elles sont souvent combinées avec des fissures de diffusion.

Les réparations par précontrainte additionnelle tendent à rendre l'ouvrage conforme aux hypothèses habituelles de fonctionnement des structures en béton précontraint.

2. FISSURES DE FLEXION

2.1. - Hypothèses de calculs

Les efforts de compression ajoutés dans l'ouvrage (par précontrainte ou dénivellations d'appuis) ont été déterminés à partir des hypothèses suivantes :

- La contrainte normale au droit d'une fissure est supposée nulle.
- Après injection des fissures, la structure est supposée fonctionner selon les lois habituelles du béton précontraint.
- L'effort appliqué doit être tel que la structure redevienne réglementaire (absence de traction et de compression excessive dans tous les cas de charges).
- Le calcul tient compte, aussi exactement que possible, des efforts et contraintes existants réellement dans l'ouvrage, soit à partir d'essais (pesées des réactions d'appuis par exemple), soit en l'estimant et en procédant à des calculs en fourchette.

2.2. - Précontrainte longitudinale et additionnelle

2.2.1.- Tracé :

Suivant le problème posé, deux types de tracés ont été utilisés (figure 1) :

- Tracé rectiligne.
- Tracé polygonal.

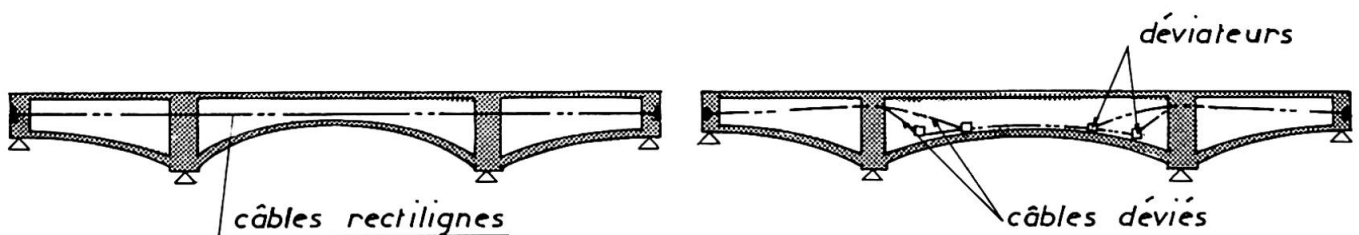


FIG. n°1

Le premier type, simple et facile à mettre en œuvre, présente « un mauvais rendement » et n'améliore que très peu la résistance au cisaillement. L'autre type, plus satisfaisant sur le plan mécanique, nécessite la construction de déviateurs, ce qui a pour inconvénient d'augmenter les pertes de précontrainte.

Dans les deux cas, il est nécessaire de prévoir des points de fixation suffisamment rapprochés et rigides pour éviter le flambement d'ensemble du tablier et la mise en vibration des câbles par résonance.

2.2.2.- Dispositifs d'ancrage des câbles :

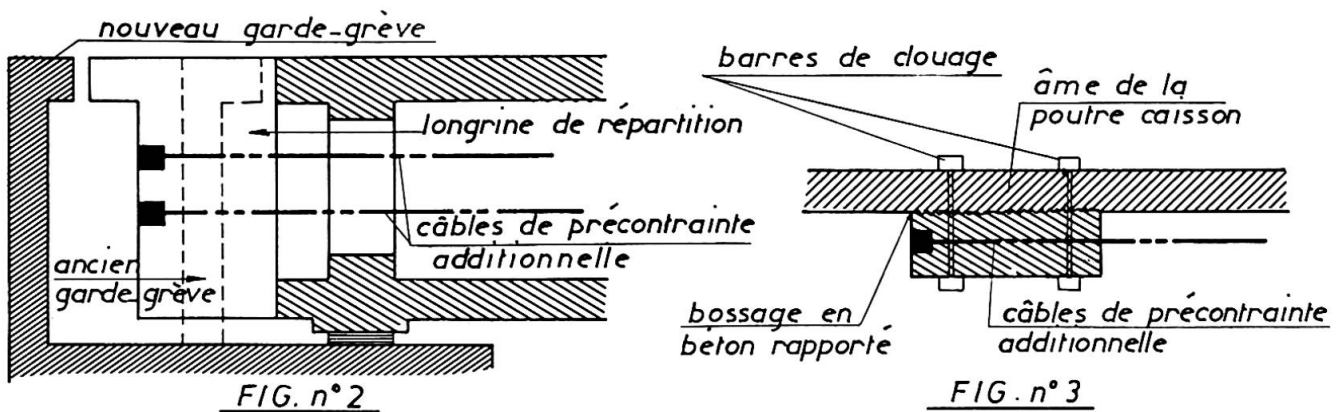
Trois types ont été utilisés :

- Longrines construites aux extrémités du tablier.
- Bossages d'ancrage cloués sur les âmes ou les hourdis.
- Appui sur les entretoises existantes.

2.2.2.1. - Longrines d'extrémités :

Cette solution consiste à construire une pièce massive en béton armé ou précontraint aux abouts du tablier (figure 2) sur laquelle viennent s'ancrer les câbles.

Cette technique présente l'avantage d'éliminer pratiquement tout effort concentré local sur la structure existante (la diffusion est assurée par la longrine), elle permet donc d'ancrer des câbles de forte puissance. Elle présente l'inconvénient de prolonger tous les câbles dans les travées de rives, ce qui n'est pas toujours facilement réalisable et, dans certains cas, est peu économique.



2.2.2.2. - Bossages d'ancrages :

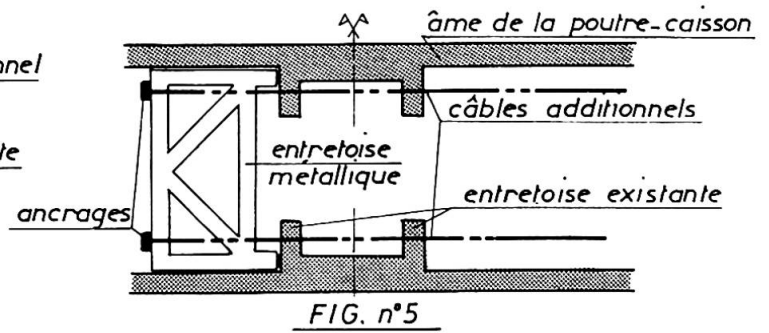
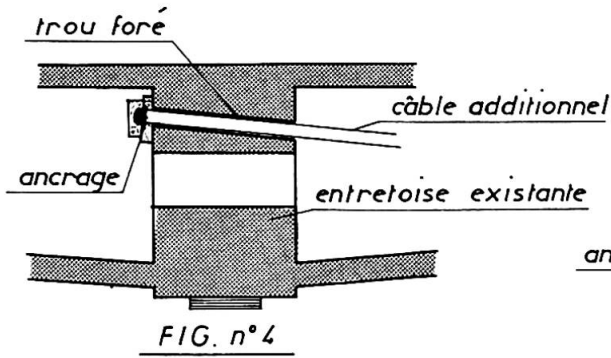
Cette technique consiste à clouer un bossage (en béton armé ou en acier) par précontrainte sur la structure existante et à y ancrer un câble (figure 3) ; elle présente l'avantage de permettre une bonne répartition de la précontrainte en fonction des efforts à reprendre. Elle présente, par contre, l'inconvénient de faire subir à la structure des efforts locaux importants dus à la diffusion de la précontrainte (flexion, cisaillement, entraînement), qui viennent se superposer aux états de contrainte existants. De plus, la réalisation au moyen d'unités de très courte longueur d'efforts de clouage est très délicate, car, la moindre variation d'allongement entraîne des pertes excessives et peut provoquer le glissement du bossage. Cette technique a été à la base d'un certain nombre de recherches qui ont porté sur les points suivants :

- Technologie pour réduire les pertes par défaut de calage des ancrages.
- Détermination de la distribution de l'effort d'ancrage sur la longueur totale d'un bossage.
- Recherche sur le traitement de la surface de reprise entre le bossage d'ancrage et la structure.
- Détermination du coefficient de frottement entre un bossage d'ancrage métallique et son mortier de calage.

2.2.2.3. - Entretoises existantes :

Cette solution consiste à ancrer les câbles sur les entretoises existantes, après forage de celles-ci (figure 4).

Cette technique présente, un peu comme celle des longrines d'extrémités, l'avantage de réduire les efforts concentrés sur les âmes et les hourdis, sous réserve que l'entretoise soit suffisamment résistante et suffisamment cousue au tablier. Dans le cas contraire, elle oblige à renforcer l'entretoise ou à substituer à celle-ci, par exemple, une structure métallique chargée de répartir au mieux les efforts d'ancrage (figure 5).



Il est à noter que les techniques actuelles de carottage au diamant permettent de forer des trous de l'ordre de 80 mm de diamètre sur des profondeurs de l'ordre de 2 à 3 m, avec un risque de déviation ne dépassant pas 0,5 à 1 cm par mètre linéaire de forage.

2.2.3.- Mise en tension des câbles de précontrainte additionnelle

Pour que la précontrainte additionnelle joue effectivement le rôle qui lui a été imparti, il est nécessaire que l'opération de mise en tension soit parfaitement coordonnée avec l'injection des fissures. De plus, il faut vérifier que la précontrainte se répartit conformément aux hypothèses de calcul retenues.

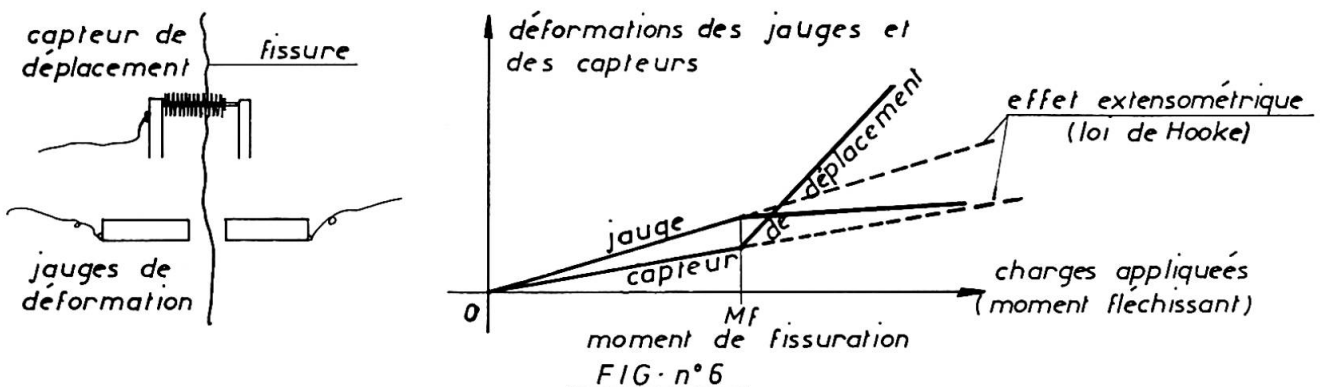
2.2.3.1. - Injection des fissures

Pour obtenir un bon fonctionnement de la structure réparée, il est nécessaire que les fissures injectées ne puissent être mises en traction par les gradients thermiques pendant le temps qui s'écoule entre l'injection et la mise en tension des câbles. Pour ce faire, deux techniques ont été utilisées séparément ou concurremment :

- Elimination des gradients thermiques par arrosage de la chaussée.
- Compensation des variations d'ouverture par mise en place de charges selon un phasage prédéterminé.

2.2.3.2. - Vérification de l'efficacité de la précontrainte

Les sections fissurées sont équipées de jauges situées de part et d'autre de la fissure et de capteurs de déplacement à cheval sur la fissure (cf. figure 6), de sorte à s'assurer de la bonne distribution des contraintes dues à la précontrainte dans la section. En outre, après réparation, l'ouvrage est soumis à des essais de chargement qui ne doivent pas entraîner de fissuration (cf. figure 6).



2.2.3.3. - Déviateurs

Lorsque le tracé du câble est polygonal, il est nécessaire de prévoir des déviateurs (en acier ou en béton) pour reprendre les poussées au vide des câbles. Ces déviateurs sont fixés sur les âmes ou les hourdis par des barres de précontrainte. Les déviateurs en béton sont traversés par des tubes rigides dans lesquels on vient enfiler le câble équipé de son conduit en P.V.C. (figure 7). Les déviateurs en acier affectent la forme d'une selle d'inflexion sur laquelle viennent s'appuyer le câble et son conduit (figure 8). Dans un cas particulier, l'inflexion du câble a été obtenue après sa mise en tension, grâce à des déviateurs réglables.

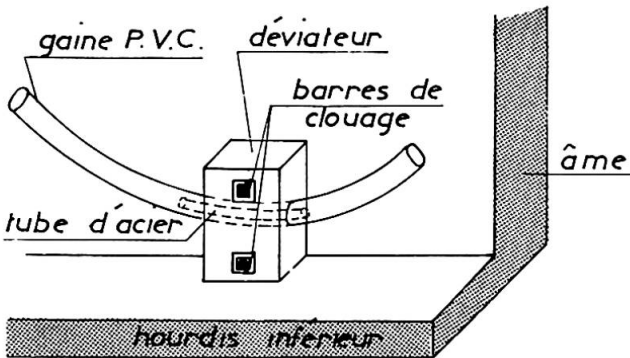


FIG. n°7

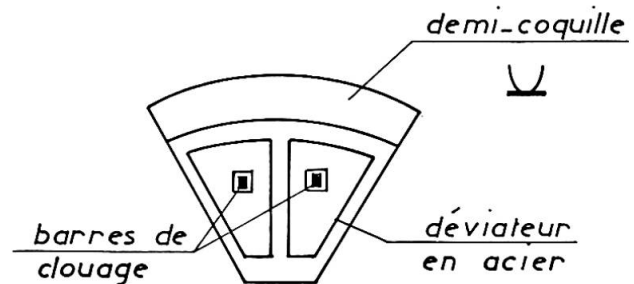


FIG. n°8

2.2.3.4. - Protection des câbles

Dans tous les ouvrages qui ont été renforcés, les câbles ont été placés sous conduits et ceux-ci ont été injectés avec des coulis à base de ciment.

Les conduits souples métalliques ondulés, trop fragiles, n'ont pas donné satisfaction. Aussi, actuellement, seuls les conduits en P.V.C. et les conduits rigides en acier sont utilisés, souvent concurremment (cf. § 2.2.3.3.). Sur un chantier, la réalisation des raccords entre les tubes plastiques et les tubes acier a posé quelques problèmes.

NOTA : La mise en précontrainte par câble est la seule qui ait été utilisée en réparation définitive. Cependant, sur un ouvrage, on a utilisé, avec succès et à titre transitoire, une dénivellation d'appuis ; ce qui a permis de maintenir l'ouvrage sous circulation avant réparation et de corriger un profil en long défectueux.

3. FISSURES DE CISAILLEMENT

3.1. - Hypothèses de calculs

Ces fissures sont dues au cumul des effets de l'effort tranchant et de la diffusion de précontrainte. Elles font, avec la fibre moyenne, un angle aigu supérieur à celui qui résulte du calcul sous le seul effet de l'effort tranchant. Le nombre d'étriers traversant ces fissures est donc, en général, très insuffisant pour reprendre les efforts appliqués à la section. De plus, l'ouverture des fissures est souvent importante ; c'est pourquoi la précontrainte verticale est dimensionnée en négligeant ces étriers.

3.2. - Précontrainte transversale additionnelle

Elle est réalisée soit au moyen d'étriers, soit par inclinaison de la précontrainte longitudinale, soit en combinant les deux procédés.

3.2.1.- Etriers actifs

Il s'agit de fils, barres ou monotorons soit disposés à l'intérieur d'un forage réalisé sur toute la hauteur de l'âme (figure 9), soit disposés au voisinage des âmes et ancrés dans les hourdis (figure 10). Ces armatures doivent être suffisamment rapprochées pour assurer une compression uniforme des âmes. La première technique, très satisfaisante sur le plan théorique, présente les inconvénients suivants :

- Elle nécessite la présence d'un ancrage immédiatement sous la chaussée.
- Il est difficile d'obtenir sur chantier la précontrainte théorique compte tenu des glissements d'ancrage cumulés à la faible longueur de l'armature.
- La réalisation du forage est toujours délicate et souvent impossible.



La deuxième technique, qui s'affranchit de la plupart des difficultés de forage, présente les mêmes inconvénients des ancrages sous chaussées et des difficultés de mise en tension ; en outre, elle engendre des efforts parasites dans les âmes et les hourdis (flexion, poinçonnement).

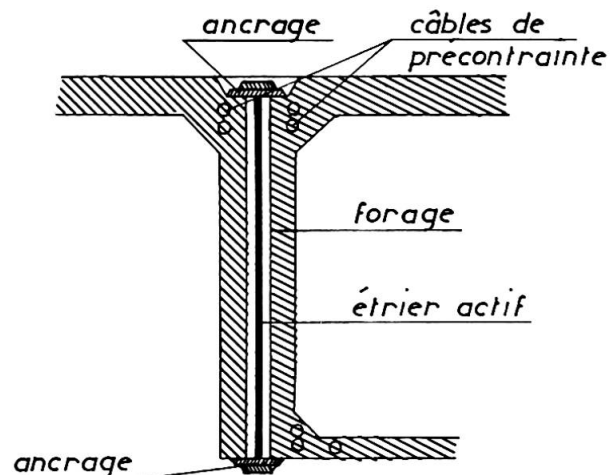


FIG. n° 9

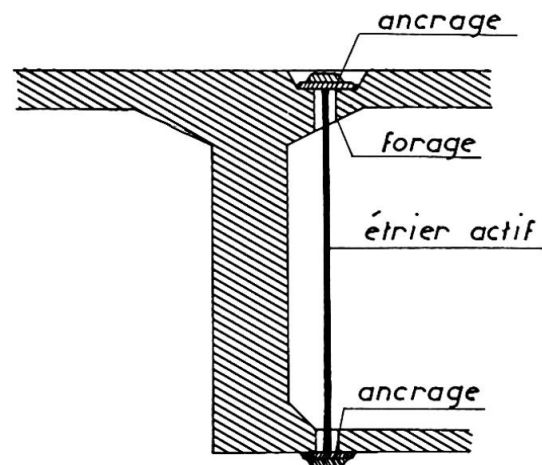


FIG. n° 10

3.2.2.- Inclinaison des câbles longitudinaux additionnels

L'inclinaison des câbles longitudinaux est une solution élégante pour recomprimer les fissures inclinées, car elle s'affranchit de la plupart des inconvénients signalés ci-dessus. Cependant, son utilisation est limitée par les considérations suivantes :

- L'angle de relevage des câbles est forcément limité, sous peine de perte par frottement très importante.
- La force de précontrainte ne doit pas être trop forte pour éviter d'engendrer des contraintes de compression excessives en section courante.
- La hauteur de l'âme intéressée par la précontrainte est limitée, compte tenu de l'encombrement des déviateurs.

4. FISSURES DE POUSSEE AU VIDE ET DE DIFFUSION DANS LE HOURDIS INFERIEUR

4.1. - Rappel

Les fissures de poussée au vide, qui se développent longitudinalement à la jonction âme-hourdis, se combinent avec celles de diffusion d'un tracé classique en arête de poisson.

4.2. - Solutions de renforcement

La précontrainte longitudinale de renforcement à la flexion permet de réduire considérablement les efforts de poussée au vide ; cependant le renforcement du hourdis est parfois nécessaire ; il peut consister :

- A soutenir le hourdis par des suspentes.
- A coller des plats métalliques.
- A précontraindre transversalement le hourdis.
- A construire un hourdis associé au précédent par collage et connecteurs.

5. CONCLUSION

La réparation par précontrainte additionnelle est une technique encore en pleine évolution. Des recherches sont actuellement en cours en vue d'améliorer la technologie (utilisation de câbles galvanisés interchangeable, fonctionnement des bossages...). Cependant, la technique mise en œuvre dans la trentaine de réparations effectuées ou en cours depuis 1973, a donné satisfaction dans l'ensemble. Le fonctionnement des ouvrages renforcés s'est avéré conforme aux hypothèses de calculs. Par contre, il faut noter que les réparations ainsi réalisées n'améliorent que très peu la résistance à rupture car en cas de nouvelles fissurations, les câbles situés à l'intérieur du béton subissent des surtensions nettement plus importantes que celles des câbles additionnels.