

La mise sous surveillance renforcée du pont de Blagnac par télésurveillance

Michel HARRAN

Chargé d'études Ouvrages d'art
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
de Toulouse

RÉSUMÉ

Le pont de Blagnac, qui franchit la Garonne à Toulouse, est un pont-caisson en béton précontraint construit par encorbellements successifs entre 1973 et 1975. Il présente des fissurations locales au niveau du hourdis inférieur et des âmes en travée centrale. Les inspections détaillées réalisées fréquemment ont permis d'observer l'évolution de cette fissuration. En 1991, une nouvelle évolution des désordres est constatée, et il est alors décidé de mettre l'ouvrage sous surveillance renforcée jusqu'au début des travaux de renforcement en 1993.

Six fissures parmi les plus ouvertes ont été instrumentées à l'aide de capteurs de déplacement. Cette instrumentation a été complétée par des sondes de température, et l'ensemble des appareils de mesure a été relié à une centrale de télésurveillance. Pour chaque capteur situé sur une fissure, une courbe moyenne d'évolution de l'ouverture de la fissure en fonction du gradient thermique a été obtenue, ce qui a permis de déterminer par translation une courbe d'alarme.

Lorsque l'ouverture indiquée par un capteur dépassait le seuil d'alarme fixé, il y avait inscription d'une alarme dans un fichier qui était consulté régulièrement par la Cellule départementale d'Ouvrages d'art (CDOA) de la Direction départementale de l'Équipement de la Haute-Garonne, par l'intermédiaire du minitel. La télésurveillance s'est effectuée pendant deux ans, sans problème particulier.

MOTS CLÉS : 61-53 - Pont - Béton précontraint - Caisson - Surveillance - Fissuration - Évolution - Capteur - Appareil de mesure - Alarme - Transmission de données (télécom.).

Présentation de l'ouvrage et des désordres

Présentation de l'ouvrage

Le pont de Blagnac franchit la Garonne à Toulouse. Il supporte un trafic urbain très dense car il est situé sur l'itinéraire d'accès à l'aéroport de Blagnac.

Son tablier est constitué par un tablier mono-caisson en béton précontraint de hauteur variable, construit suivant la technique des encorbellements successifs. Sa longueur totale est de 200 m et se décompose en trois travées de longueur respective 55 m, 90 m, 55 m (fig. 1).

Construit entre 1973 et 1975, il supportait avant les travaux de réparation une chaussée bidirectionnelle de 7 m de large et un trottoir aval d'une largeur de 2 m (fig. 2). Pour son intégration dans la future liaison entre Toulouse et l'aéroport (classée en voirie nationale), la largeur roulable sera augmentée afin d'introduire une troisième voie.

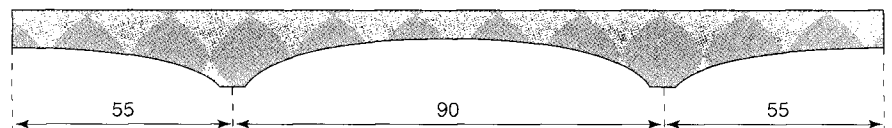


Fig. 1 - Schéma du pont de Blagnac.

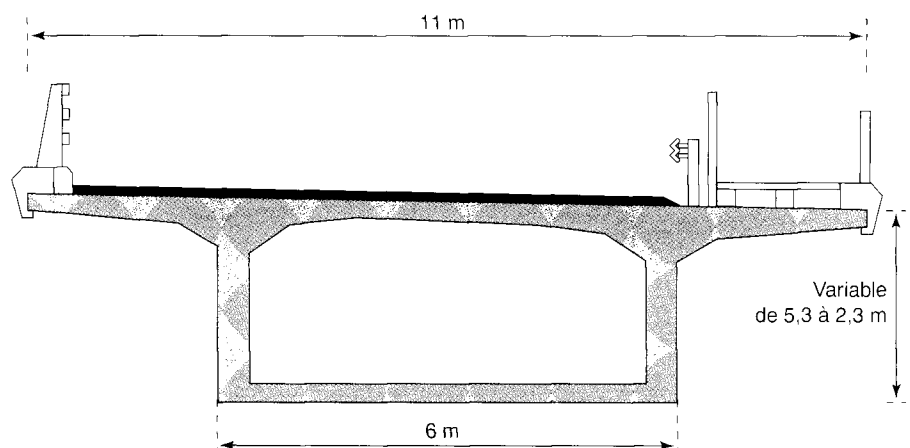


Fig. 2 - Coupe transversale du pont de Blagnac.

Du fait de sa date de construction, le calcul d'exécution n'avait pas pris en compte les effets du gradient thermique. Par contre, et à la différence de nombreux autres ouvrages construits à la même époque, le concepteur du pont de Blagnac avait tenu compte d'une certaine redistribution d'efforts due aux déformations différées au sein de la structure ; cette redistribution avait été fixée à $\frac{1}{4} (S_2 - S_1)$, soit la moitié de la valeur qui devait être retenue par la suite dans la circulaire publiée par le SETRA en 1975.

Dès sa construction, des fissures en « arêtes de poisson » (fissures de diffusion de précontrainte) sont apparues au voisinage des bossages d'ancrage des câbles de continuité, bossages situés sur le hourdis inférieur. Compte tenu de l'existence de ces désordres, la réception définitive du pont n'a été prononcée qu'en 1977, avec néanmoins des réserves.

Présentation des désordres

Les nombreuses inspections détaillées opérées sur une base annuelle depuis 1979 ont mis en évidence l'évolution de la fissuration en nombre et en ouverture, avec en particulier l'apparition d'une fissure périphérique de la zone centrale du hourdis inférieur contenant la précontrainte de continuité (fissuration de poussée au vide).

Le diagnostic sur l'état de l'ouvrage effectué en 1983 par le Laboratoire central des Ponts et Chaussées, à partir de mesures de déformation et d'ouverture de fissures réalisées par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Toulouse lors d'essais de chargement progressifs, indiquait que « l'ouvrage souffrait davantage de défauts locaux (diffusion, entraînement, poussée au vide) que d'une insuffisance caractérisée en flexion générale » [1]. En effet, lors de ces essais de moment de décompression ([2]), la réserve de moment fléchissant « à vide » mesurée sur trois joints de la travée centrale était

située dans la fourchette de calcul (états à vide à la mise en service et à 50 000 jours) [3].

En 1987, l'évolution des désordres a conduit la Direction départementale de l'Équipement (DDE) de la Haute-Garonne, en accord avec l'inspecteur général des ouvrages d'art de la région Sud-Ouest, à créer un comité technique afin d'étudier les mesures à prendre et de définir une solution de renforcement. Il est alors décidé, à titre conservatoire, de limiter la charge sur le pont à 3,5 t. En 1988, le recalcul de l'Ouvrage est confié à la Division Ouvrages d'art du Centre d'études techniques de l'équipement du Sud-Ouest (CETE) : l'étude de la flexion longitudinale, menée en prenant en compte une loi de fluage « scientifique » et des données issues du calendrier de construction extrait du journal de chantier, a alors montré que la contrainte en fibre inférieure de la zone de clé de la travée centrale pouvait atteindre une valeur de - 4 MPa en traction sous combinaison rare [3].

Au vu des résultats de ce recalcul, il est décidé en 1989 de procéder à de nouveaux essais de chargement progressif pour estimer la réserve de moment à vide en travée centrale, et pouvoir dimensionner la précontrainte de renfort. Ces essais, réalisés par le LRPC de Toulouse en avril 1989, permettent de conclure que la réserve de compression en fibre inférieure de la travée centrale se situe toujours dans la fourchette des états à vide.

En 1991, une nouvelle évolution des désordres est constatée ; la figure 3 présente le relevé des principales fissures qui affectent le hourdis inférieur en travée centrale. Le CETE du Sud-Ouest est alors chargé d'effectuer le projet de réparation des désordres et de renforcement lié à la mise à trois voies de l'ouvrage. En parallèle, le comité technique préconise de mettre l'ouvrage sous surveillance renforcée, avec pour objectif de pouvoir réagir rapidement à une accélération éventuelle des dégradations.

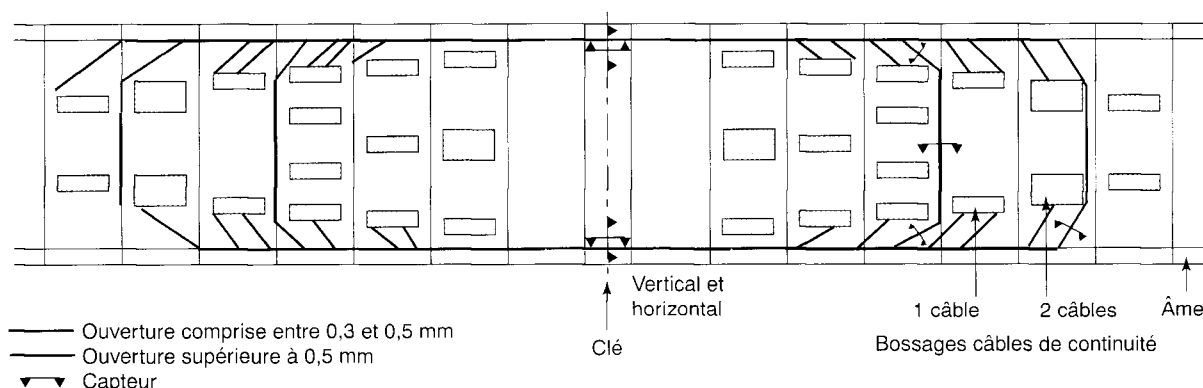


Fig. 3 - Schéma de fissuration du hourdis inférieur et implantation des capteurs de déplacement.

Instrumentation pour la surveillance de l'ouvrage

L'ouvrage a été placé sous surveillance renforcée à partir du 14 février 1991 jusqu'au début des travaux de renforcement en 1993.

Dans la travée centrale, les fissures les plus ouvertes de chaque famille :

- deux fissures de poussée au vide,
- trois fissures de diffusion,
- une fissure d'entraînement confondue avec un joint de voussoir,

ont été retenues comme étant les plus représentatives de l'endommagement du pont, et ont été instrumentées. Ces fissures instrumentées sont mentionnées sur le relevé de fissuration du hourdis inférieur (fig. 3) ; elles sont équipées à l'aide de huit capteurs de déplacement. Ces capteurs sont des capteurs à électronique incorporée ; ils ont une course de $\pm 2,5$ mm et une résolution de l'ordre du micron. Ils fournissent des valeurs de déplacements avec une précision de $\pm 0,01$ millimètres.

L'instrumentation a été complétée par six sondes de température, dont une fournissait la température ambiante et les cinq autres étaient réparties dans une section voisine de la clé conformément au plan de la figure 4. Ces dernières sondes permettaient de donner une bonne estimation du gradient thermique régnant dans le caisson, en effectuant la différence entre la moyenne des températures mesurées dans le hourdis supérieur et la température mesurée à mi-épaisseur du hourdis inférieur.

L'ensemble des instruments de mesure est relié à une centrale de télésurveillance.

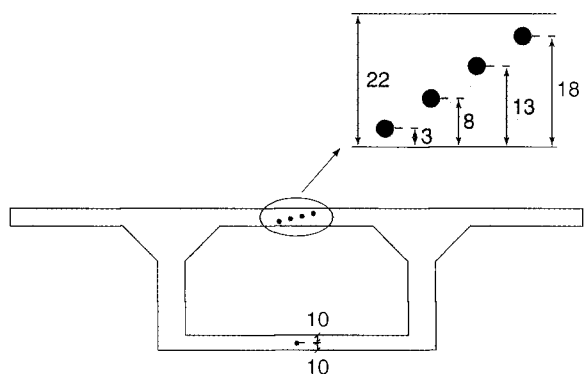


Fig. 4 - Implantation des sondes de température dans une section située près de la clé.

Exploitation des mesures

L'objectif de la surveillance était d'être informé d'une éventuelle accélération des dégradations. le dépassement d'une courbe limite devant se

traduire par le déclenchement d'une alarme par la centrale.

Obtention de la courbe d'alarme

Pour répondre à cet impératif, la centrale de télésurveillance ACQUITEL 24 a été programmée pour une scrutation tous les quarts d'heure, une acquisition et un stockage trois fois par jour (toutes les 8 heures et notamment à 22 heures).

Après quelques semaines de suivi, il a été décidé que les mesures retenues pour l'exploitation seraient celles saisies à 22 h, car elles étaient supposées correspondre au gradient thermique maximal existant au sein de la structure.

Pour chaque capteur situé sur une fissure, une courbe moyenne d'évolution de l'ouverture de la fissure en fonction du gradient a été tracée ; l'équation de cette courbe est un polynôme du second degré de la forme : $y = a + b_1 x + b_2 x^2$ où y représente l'ouverture et x le gradient thermique.

Compte tenu de la difficulté de fixer par le calcul des seuils d'alarme portant sur l'ouverture des fissures, une approche de nature statistique a été appliquée pour fixer ces seuils après une période d'apprentissage suffisamment longue, et en se basant sur l'expérience acquise à l'occasion de la mise sous surveillance antérieure d'ouvrages similaires.

La courbe d'alarme est obtenue à partir d'une courbe en dessous de laquelle se situent 95 % des mesures effectuées à 22 h, cette courbe étant décalée vers le haut d'une valeur égale à un demi-intervalle séparant la courbe moyenne et la courbe contenant 95 % des mesures. La courbe d'alarme a ainsi pour équation :

$$y = a' + b_1 x + b_2 x^2$$

où $a' = a$ est égal au décalage existant entre la courbe moyenne et la courbe à 95 %, majoré du demi-intervalle existant entre ces deux courbes.

Ce décalage, visible sur les figures 5 à 7, est égal à :

- 0,04 mm pour une fissure de poussée au vide,
- 0,02 mm pour une fissure de diffusion,
- 0,07 mm pour le joint de voussoir.

La programmation de la centrale est complétée par un test horaire qui vérifie si la phase de mesures se situe entre 22 et 23 heures.

Exploitation des mesures et affinage de la courbe d'alarme

Pour chaque phase de mesures, qui a lieu tous les quarts d'heure, si le test horaire est vérifié et si la

mesure effectuée est supérieure à la mesure probable calculée à partir de l'équation de la courbe alarme et de la valeur calculée du gradient thermique, il y a dépassement de la courbe alarme et donc inscription d'une alarme dans le fichier « alarme ».

Pour tenir compte de l'expérience précédente de la surveillance du pont de l'Onia, où des dépassements de la courbe d'alarme s'étaient produits à la fin de l'été en raison d'un comportement thermique différent de l'ouvrage entre l'hiver et l'été, pour chaque capteur mis en place sur le pont de Blagnac, la courbe moyenne de variation d'ouverture en fonction du gradient a été ajustée deux fois pour tenir compte, en final, d'une courbe moyenne annuelle qui intègre les cycles saisonniers, à savoir les phases ascendante et descendante de la température.

La première courbe prenait en compte les mesures du 14 février au 31 juillet 1991 (phase ascendante) ; la seconde était complétée par les mesures du 1^{er} août 1991 au 14 février 1992 (phase descendante). Dans le cas du pont de Blagnac, ces deux périodes s'avèrent être des périodes d'observation indispensable à une surveillance dans le temps afin de pouvoir discerner une évolution irréversible caractéristique d'un endommagement.

Des exemples de ce traitement sont présentés sur les figures 5 à 7 pour chaque famille de fissures. Il s'agit de courbes de variation d'ouverture en fonction du gradient, où l'on peut distinguer les deux phases de mesures, la courbe moyenne et la courbe alarme. L'observation des différentes séries de mesures montre que les mesures du deuxième semestre sont généralement supérieures à celles du premier semestre.

En plus de ce type d'exploitation des mesures, une autre représentation graphique a aussi été retenue. Il s'agit de la représentation en fonction du temps de la mesure d'ouverture proprement dite, de la valeur théorique de l'ouverture calculée à partir du polynôme du second degré et de la valeur du gradient, ainsi que de l'écart entre mesure et théorie (un exemple est donné sur la figure 8).

Gestion du système de surveillance

Compte tenu de l'absence de défaillance prévisible de l'ouvrage à court terme, et compte tenu de la limitation des charges autorisées à

passer sur l'ouvrage, le pont de Blagnac a fait l'objet d'un régime de surveillance renforcée, la haute surveillance ne s'imposant pas dans le cas présent. Il n'était donc pas nécessaire d'installer un dispositif lourd permettant l'envoi d'alarmes à distance, et la surveillance renforcée fut donc effectuée par le gestionnaire de l'ouvrage (la CDOA de la Haute-Garonne) qui consultait régulièrement le fichier alarme de la centrale pour examiner si l'un des capteurs avait dépassé un seuil d'alarme. L'interrogation de ce fichier se faisait facilement par l'intermédiaire du minitel.

Lorsqu'une alarme était inscrite dans ce fichier, une vérification de la validité de la mesure devait être opérée par des tests sur la centrale de mesure. Dans le cas où l'alarme était validée, une réunion du comité technique était programmée pour appuyer la DDE dans ses décisions relatives à la gestion du trafic autorisé sur l'ouvrage.

Bilan de la télésurveillance

La télésurveillance du pont de Blagnac s'est déroulée pendant 710 j sans problème de métrologie au niveau des capteurs, ni de problème d'électronique avec la centrale de télésurveillance.

L'exploitation des mesures n'a pas fait ressortir d'évolution importante ou brutale de l'ouvrage.

Au troisième trimestre de 1992, certains capteurs ont témoigné d'une tendance à la fermeture des fissures. Après vérification complète de la chaîne de mesures excluant toute dérive, l'explication a été trouvée auprès des conditions météorologiques particulières qui ont régné à cette époque. En effet, en raison d'une saison très pluvieuse, une hygrométrie très forte et visible jusque dans le caisson a probablement perturbé l'état de la surface du béton intérieure au caisson, provoquant une tendance à la fermeture de certains capteurs.

L'arrêt de la télésurveillance a coïncidé avec le début des travaux de renforcement. Ceux-ci ont consisté à enlever en travée centrale la partie du hourdis inférieur prédécoupée par la fissuration, à la remplacer par quelques butons transversaux et à mettre en place une précontrainte additionnelle [3].

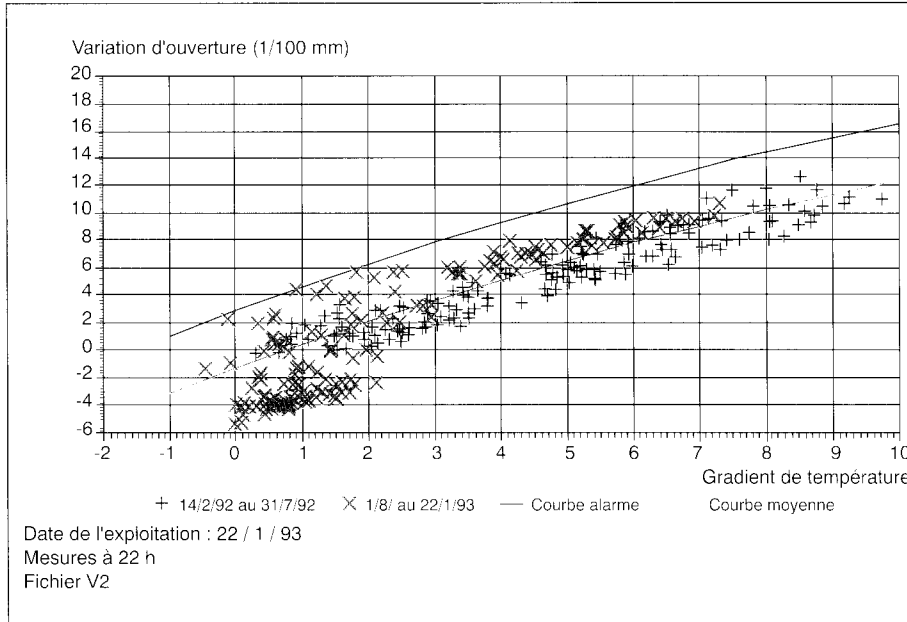


Fig. 5 -
 Variation d'ouverture
 d'une fissure de
 poussée au vide en
 fonction du gradient
 thermique, avec tracé
 de la courbe d'alarme.

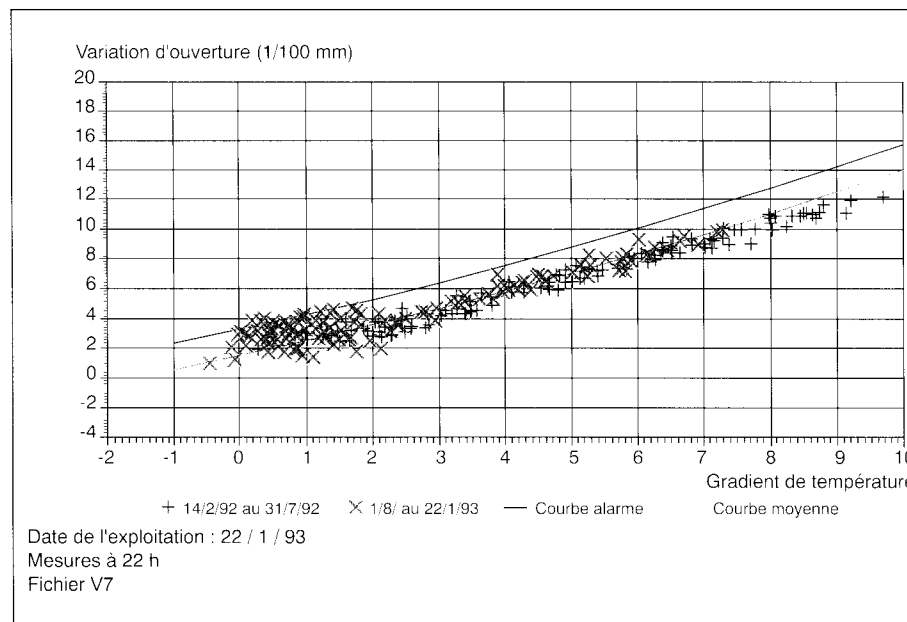


Fig. 6 -
 Variation d'ouverture
 d'une fissure de
 diffusion en fonction
 du gradient thermique,
 avec tracé de la
 courbe d'alarme.

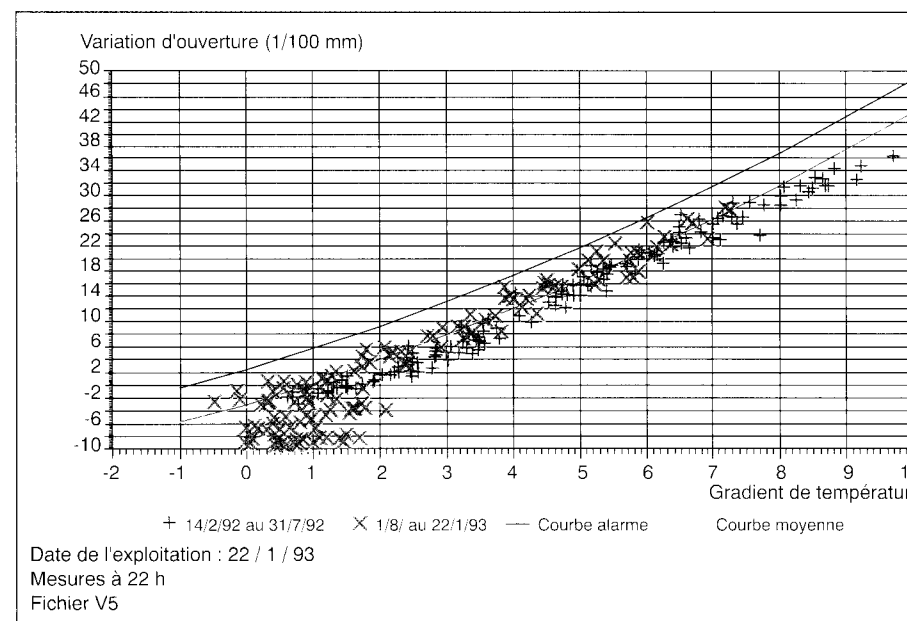
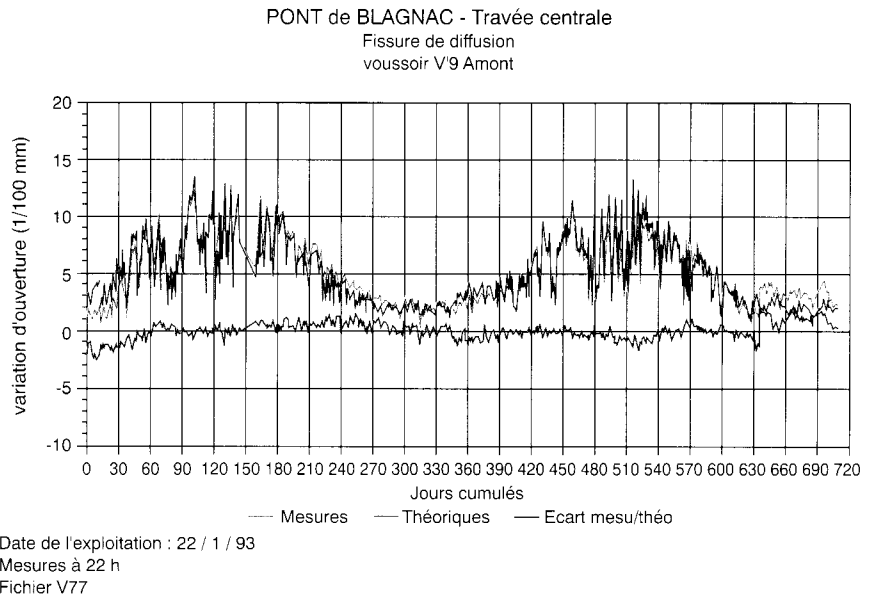


Fig. 7 -
 Variation d'ouverture
 d'un joint de voussoir
 en fonction du gra-
 dient thermique, avec
 tracé de la courbe
 d'alarme.

**Fig. 8 -
Évolution de l'écart
entre mesure et
estimation de l'ou-
verture d'une fissure de
diffusion en fonction
du temps.**



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- | | |
|---|---|
| <p>[1] GODART B. (1983), <i>Diagnostic sur l'état du pont de Blagnac</i>, Rap. interne du LCPC.</p> <p>[2] CHATELAIN J., GODART B. (1989), Évaluation de l'état mécanique réel de ponts en béton précontraint, <i>Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées</i>, 159, janv.-févr., p. 111-115.</p> | <p>[3] GREZES B., BARRAS P. (1995), <i>Réparation et renforcement du pont de Blagnac à Toulouse</i>, Symposium AIPC Extending the Lifespan of Structures, San Francisco, Rapport AIPC 73/2, p. 1473-1478.</p> |
|---|---|

ABSTRACT

Close surveillance of the Blagnac bridge by remote monitoring

M. HARRAN

The Blagnac bridge over the Garonne in Toulouse is a prestressed concrete box girder bridge constructed by successive overhangings between 1973 and 1975. Localized cracking has appeared on the bottom cast slab and the webs of the central span. Frequent detailed inspections has been conducted in order to monitor the development of this cracking. A new change in disorders was noted in 1991 and it was consequently decided to place the bridge under close surveillance until strengthening work began in 1993.

Displacement sensors were fitted to six of the widest cracks. The bridge was also instrumented with temperature probes and the measurement system was connected to a remote monitoring centre. A main curve of change in width against temperature gradient was obtained for each sensor located on a crack. An alarm curve was developed from this by translation.

When the width given by the sensor exceeded the alarm threshold an alarm was logged in a file which the Haute Garonne Public Works Directorate Bridge Team consulted on a regular basis via the Minitel. Remote monitoring was conducted for two years with no particular problems.