

Variation dans le temps de l'effort de précontrainte d'un pont en poutre caisson continue

Autor(en): **Dehan, E. / Louis, H.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6141>

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.

VI a 7

**Variation dans le temps de l'effort de précontrainte
d'un pont en poutre caisson continue**

**Time variation of prestressing forces in a bridge with
continuous box beam**

**Die zeitliche Aenderung der Vorspannkraft in einer
durchlaufenden Balkenbrücke mit Kastenquerschnitt**

**Variação com o tempo da tensão de preesforço de uma ponte
com viga contínua em caixão**

E. DEHAN

*Ingénieur en Chef-Directeur des Ponts
et Chaussées*

Liège

H. LOUIS

Professeur à l'Université de Liège

Liège

Le pont en béton précontraint construit en 1949 sur la Meuse à Sclayn (entre Namur et Liège) est une poutre caisson continue de 127 mètres de longueur, à deux travées égales. La hauteur de la poutre varie de 1,40 mètre au droit des appuis extrêmes à 4,75 mètres au droit de l'appui central; la section transversale est divisée en trois cellules par deux cloisons longitudinales; cinq voiles transversaux relient d'une manière continue ces cloisons et les parements latéraux. L'armature de précontrainte, placée à l'intérieur des caissons, est constituée par 1728 fils de 7 mm de diamètre ayant toute la longueur de l'ouvrage. Rectilignes dans les travées, ils présentent un changement de direction peu important au droit de la pile. La tension de précontrainte est de 85 Kg/mm².

En raison des dimensions de cet ouvrage, importantes et inusitées à l'époque de la construction, et dans un but de recherche, l'Administration Belge des Ponts et Chaussées décida de procéder à la mesure de l'effort de précontrainte réellement appliqué et des fluctuations de cet effort dans le temps. L'enrobage de l'armature s'effectuant immédiatement après l'application de la précontrainte, la mesure périodique des relaxations impliquait la présence d'une armature supplémentaire destinée aux essais, surabondante pour la résistance de l'ouvrage et accessible à tout moment; les fils pouvaient donc seulement être peints mais non enrobés de mortier.

Ces fils identiques à ceux de l'armature effective sont aussi tendus à raison de 85 Kg/mm². Ils sont répartis en quatre câbles : deux de 16 fils dans la cellule centrale, deux de 8 fils dans les cellules latérales. Pour des raisons d'accessibilité, ces câbles sont placés au-dessus de l'armature effective; l'écartement de leurs fils est de 40 mm.

Les mesures et surtout leur interprétation sont faites sur la base des causes connues de la variation de l'effort de précontrainte :

- allongement progressif ou fluage de l'acier ;
- raccourcissement du béton sous l'effet de son retrait et de son fluage ;
- influences diverses dont l'action ne suit pas de lois discernables : variation du degré hygrométrique de l'air, variation de la température, écarts de température entre les diverses parties de l'ouvrage, etc.

Les procédés de mesure utilisés sont les suivants (*) :

- 1) La mesure de l'effort total de chacun des 4 câbles témoins et de la variation de cet effort est faite au moyen d'un dynamomètre cylindrique interposé entre le béton de la face terminale du pont et le dispositif d'ancrage des fils (fig. 1). Ce dynamomètre est un tube de 116 ou de 91 mm de diamètre et de 3 mm d'épaisseur en acier électrique auto-trempant spécial au Ni, Cr, Mo, dénommé infatigable, de 120 Kg/mm² de limite élastique et soumis en service à une tension maximum de 50 Kg/mm². Chaque dynamomètre est équipé de cordes vibrantes, d'extensomètres ohmiques et de comparateurs au 1/1000^{ème} de millimètre.
- 2) La mesure de l'effort sollicitant les fils périphériques des câbles témoins sert de contrôle aux indications des dynamomètres ; elle est obtenue de deux manières :
 - a) par détermination de la fréquence de vibration transversale du fil ;
 - b) par mesure de la flèche transversale que prend le fil sous l'effet d'un effort transversal connu appliqué à mi-distance entre deux points en lesquels le fil est appuyé.

La précision des mesures est de l'ordre de 2 Kg/mm².

- 3) Les variations de la longueur du pont sont relevées, ainsi que la déformée de l'ouvrage qui est déterminée par nivellement et contrôle des rotations en divers points.

La mesure des efforts dans les fils témoins et de la variation de longueur de l'ouvrage, le tracé de la déformée ont lieu simultanément à des dates déterminées : 33 mesures ont été faites depuis la construction du

(*) H. LOUIS et E. DEHAN — Annales des Travaux Publics de Belgique, 1950, fascicule 3 : Mesures des efforts et de la variation des efforts dans les câbles accessibles des ouvrages en béton précontraint.

pont en 1949; la fréquence des mesures faites immédiatement après la mise en précontrainte étant évidemment plus élevée (1 mesure par mois pendant 6 mois) qu'actuellement (1 mesure environ tous les 6 mois). Il convient de signaler que les mesures aux extensomètres ohmiques ont

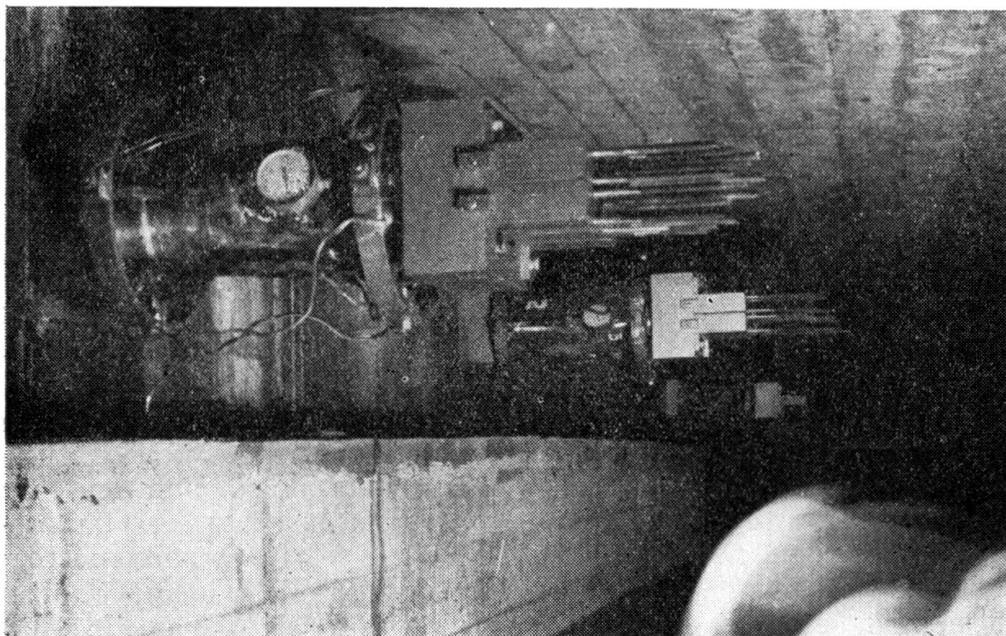


FIG. 1. Cylindres dynamométriques placés à une extrémité des 4 câbles témoins

seulement pu être faites tout au début de la recherche. Après quelques mois, seules la mesure par cordes vibrantes de l'effort des dynamomètres et la mesure de la fréquence de vibration des fils se sont révélées fidèles et précises.

Interprétation des résultats des mesures

1) Mesures effectuées lors de la précontrainte

Les contrôles effectués sur les fils lors de la mise en précontrainte ont mis en évidence le peu de garantie qu'offre la mesure de l'allongement des fils comme élément d'appréciation de l'effort de précontrainte. Les tensions mesurées sur un grand nombre de fils de l'armature effective, avant leur enrobage, accusent une dispersion importante; elles s'échelonnent de 60 à 100 Kg/cm², la moyenne correspond cependant à la valeur imposée de 85 Kg/mm².

Quant aux quatre câbles témoins, les mesures, plus précises que pour l'armature effective, effectuées après mise en traction et blocage ont

donné comme sollicitation moyenne des fils de chacun des câbles: 82, 90, 93 et 91 Kg/mm².

Cette dispersion peut être attribuée à plusieurs causes :

- le mou du fil non tendu, particulièrement dans les ouvrages en caisson contribue à cette dispersion malgré les précautions prises lors de l'opération de mise en traction,
- l'hétérogénéité des caractéristiques des fils d'acier, en particulier du module d'élasticité est une autre cause d'écarts importants quand l'effort est déterminé par la mesure de l'allongement du fil,
- le glissement du fil dans les dispositifs d'amarrage donne encore lieu à une certaine imprécision, relativement faible cependant pour un ouvrage de grande longueur comme le pont de Sclayn.

Ces causes agissent généralement dans le sens d'une diminution de la tension, sauf l'hétérogénéité du module d'élasticité qui agit aussi bien dans le sens d'une augmentation.

L'incertitude au sujet de la valeur de l'effort de précontrainte mesuré par allongement des fils est plus à craindre que les relaxations possibles dans le temps. Aussi à la suite des essais faits au pont de Sclayn et sur d'autres ouvrages, l'Administration des Ponts et Chaussées impose-t-elle que l'effort du vérin de traction soit contrôlé par un dynamomètre précis et fidèle, régulièrement taré et que le contrôle de l'allongement soit exercé simultanément au cas où, pour des raisons accidentelles, le fil serait bloqué en un point quelconque de sa longueur.

2) Résultats de l'auscultation périodique

a) Variations de température (figure 2)

Le diagramme des températures correspond aux valeurs relevées à l'intérieur du pont dans le couloir central, au moment des autres opérations de mesure. Ces valeurs ne fournissent que des indications imparfaites sur la température de la masse de l'ouvrage. L'enregistrement de la température à l'extérieur de l'ouvrage a montré l'existence d'un déphasage d'environ 12 heures entre cette température et la température mesurée à l'intérieur de l'ouvrage. Cette constatation permet de conclure que le gradient de température du béton même est instable et que l'état thermique de l'ouvrage n'est pas directement lié à la température lue à un instant donné mais à l'évolution de cette température pendant les heures et les journées précédentes; cette conclusion est particulièrement valable pendant l'hiver.

Ces considérations ne peuvent être perdues de vue lors de la recherche d'une corrélation possible entre l'évolution des caractéristiques géométriques et tensométriques du pont et la variation de la température. Il serait hasardeux de vouloir corriger trop systématiquement les diagrammes de ces caractéristiques, des influences probables des modifications thermiques, celles-ci étant mal connues.

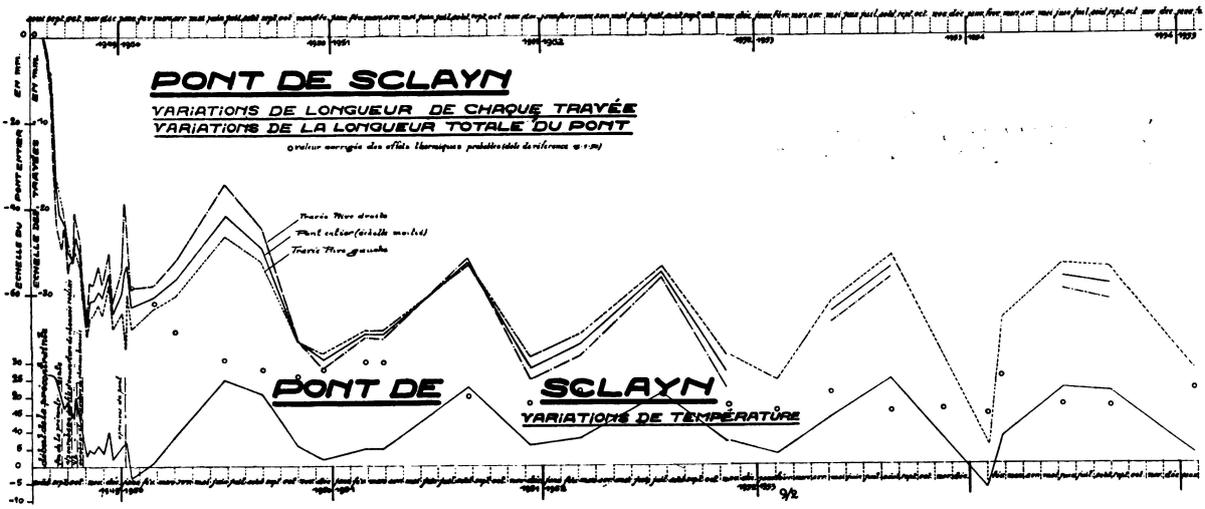


FIG. 2

b) *Variations de longueur de l'ouvrage (figure 2)*

Au début de la période d'auscultation (mois de septembre 1949) la température à l'extérieur a peu varié, tandis qu'elle restait pratiquement constante (18°) à l'intérieur de l'ouvrage. Les variations de longueur du pont pendant cette période (un mois) correspondent donc aux effets du retrait, de l'effort de précontrainte et de la déformation verticale des travées. Le raccourcissement est de 40 mm, il y correspond une perte de tension de 6,3 Kg/mm² dans les *premiers fils tendus* (les câbles témoins ont seulement été placés à ce moment).

Dans la suite le diagramme de la figure 2 montre la continuation de l'influence du retrait et du fluage du béton car pour des températures estivales constantes de l'ordre de 25° C, la longueur du pont ne cesse de diminuer jusqu'à la fin de l'année 1952. Il semble que depuis cette date les variations de longueur sont presque entièrement d'origine thermique, et les mesures conduisent à admettre pour l'ouvrage un coefficient de dilatation thermique égal à $1,07 \times 10^{-5}$.

Sur la base de ce coefficient, la correction du diagramme du raccourcissement du pont à partir de la température pour les relevés postérieurs au mois de janvier 1950 conduit aux valeurs du raccourcissement représentées par de petits cercles sur la figure 2. Malgré la dispersion des résultats, le diagramme corrigé montre que le retrait et le fluage ont provoqué un raccourcissement important, de l'ordre de 9 centimètres, jusqu'à la fin de l'année 1952, c'est-à-dire trois ans après l'exécution du pont.

c) *Déformées verticales de l'ouvrage*

La figure 3 donne quelques déformées relevées à différentes dates, les flèches renseignées étant relatives à la déformée après précontrainte, prise comme état de référence. L'allure de la déformée ne varie guère tandis que les amplitudes des déformations croissent légèrement avec le temps et ne sont pas égales dans les deux travées.

d) *Effort des câbles témoins*

Les diagrammes de la variation, relevée aux cylindres dynamométriques, de la tension moyenne des fils de chaque câble témoin (figure 4) montrent dans les premiers jours qui suivent la mise en traction une perte de tension de 1 à 1,5 Kg/mm² due vraisemblablement au fluage des fils. Le diagramme moyen des quatre câbles — courbe E — reflète la variation de l'effort de chacun des câbles d'essai.

Après la diminution de 1,5 Kg/mm² après la mise en traction, aucune diminution n'est plus enregistrée jusqu'au mois de mars 1950. Ce résultat s'explique si l'on considère que pendant la période d'hiver la perte de tension due au retrait du béton et au fluage du béton et de l'acier est compensée par l'effet de la diminution de la température: en effet, le coefficient de dilatation thermique de l'acier est plus élevé que celui du béton et en outre l'inertie thermique et d'ailleurs aussi l'exposition des

PONT DE SCLAYN-DEFORMEES

ETAT DE REFERENCE : PONT TERMINE LE 28-10-49

ECHELLES : LONGUEURS : 1/500 - FLECHES : 2/1

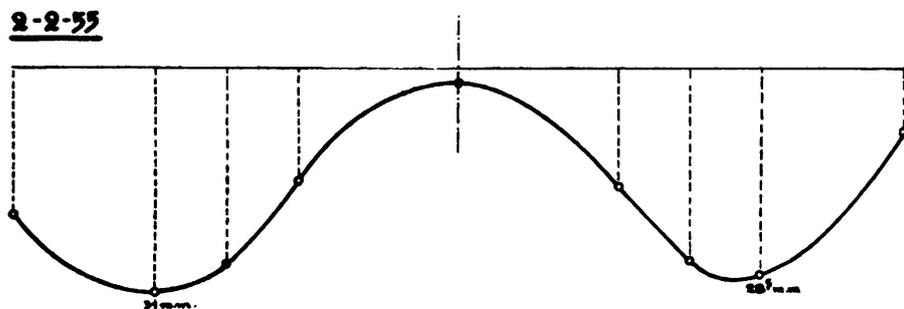
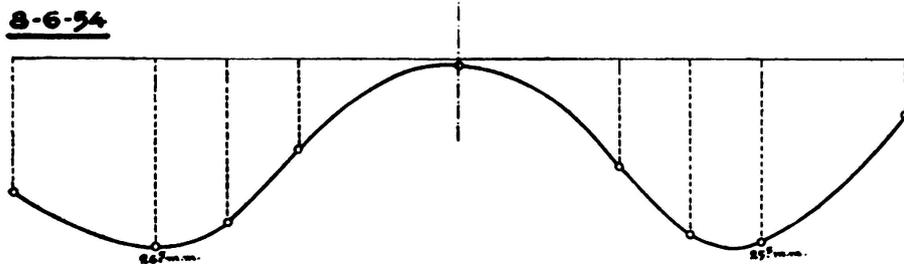
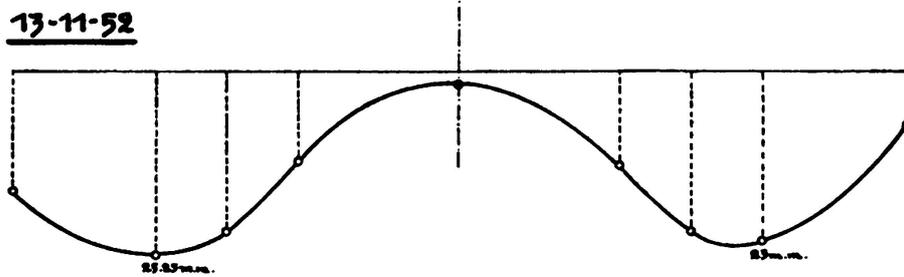
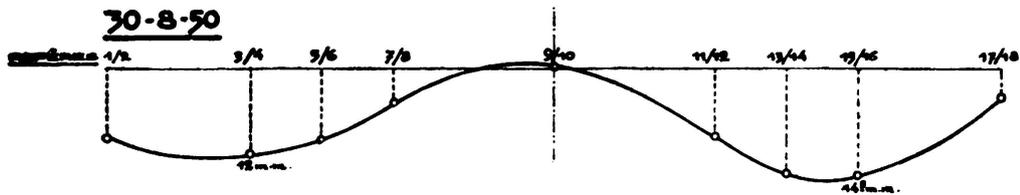


FIG. 3

câbles témoins et du béton de l'ouvrage ne sont pas comparables. Il est impossible, faute de données précises, de corriger les courbes des effets thermiques et hygrométriques.

A partir du mois de mars 1950, la température augmentant, on note une diminution rapide de la tension des fils jusqu'à la fin du mois d'août 1950. Par la suite jusqu'à la fin de l'année 1950 la tension croît à nouveau (pendant la période d'hiver) sans atteindre évidemment les tensions initiales. L'allure du phénomène semble pouvoir être représentée d'une manière approximative par une succession de courbes correspondant à des périodes d'un an, dont la concavité est orientée vers les pertes de tension et dont les ordonnées maxima se disposent approximativement sur une courbe asymptotique à une droite parallèle à l'axe des temps. Les mesures devenant moins précises dans les dernières années, cette allure ondulée des diagrammes n'est plus apparente.

Les courbes précédentes (A à E—figure 4) donnent la tension moyenne dans les fils des câbles témoins, calculée à partir de l'effort total des câbles relevé aux cylindres dynamométriques: la perte de tension est de l'ordre de 8 à 10 Kg/mm². Ces courbes sont confirmées par la courbe F (figure 4) qui reproduit les variations de la tension des fils déterminée par la mesure de la fréquence propre de vibration sur base réduite. Les ordonnées de la courbe F correspondent à la moyenne, pour les quatre câbles, des mesures effectuées à une même date. Ces résultats sont évidemment moins précis du fait qu'ils correspondent seulement aux fils périphériques; ils sont cependant en bonne concordance avec ceux du diagramme E (moyenne des efforts des quatre dynamomètres).

Les principales conclusions tirées de cette auscultation périodique qui dure depuis plus de six années sont les suivantes:

- la comparaison des diagrammes de la variation de l'effort des câbles témoins et du raccourcissement du pont montre que la perte de tension dans les câbles est surtout à attribuer au raccourcissement de l'ouvrage dû au retrait du béton et à son fluage sous l'effet de la précontrainte;
- Les mesures permettent seulement de déterminer les variations globales de tension et des déformations sans qu'il soit possible d'établir une discrimination entre les effets des différentes causes;
- la plus grande partie du fluage de l'acier semble se produire peu de temps après la mise en traction; le fluage de l'acier conduit à une faible relaxation, de l'ordre de 1,5 Kg/mm²;
- après six ans la perte de tension totale est de l'ordre de 8 à 10 Kg/mm² soit environ 12 % de la tension moyenne de précontrainte. La perte de tension n'a pas encore atteint son maximum, mais il semble qu'elle ne doive plus croître que très lentement;
- les flèches des deux travées se sont accentuées d'année en année. Les câbles effectifs étant solidaires du béton, cette déformation verticale n'est pas dangereuse pour autant qu'elle ne prenne pas des valeurs excessives;
- l'incertitude qui règne au sujet de la valeur de la tension appliquée aux fils lors de l'application de la précontrainte malgré le soin apporté à cette opération est plus à craindre que l'effet des causes possibles de relaxation. Il est indispensable de mesurer d'une

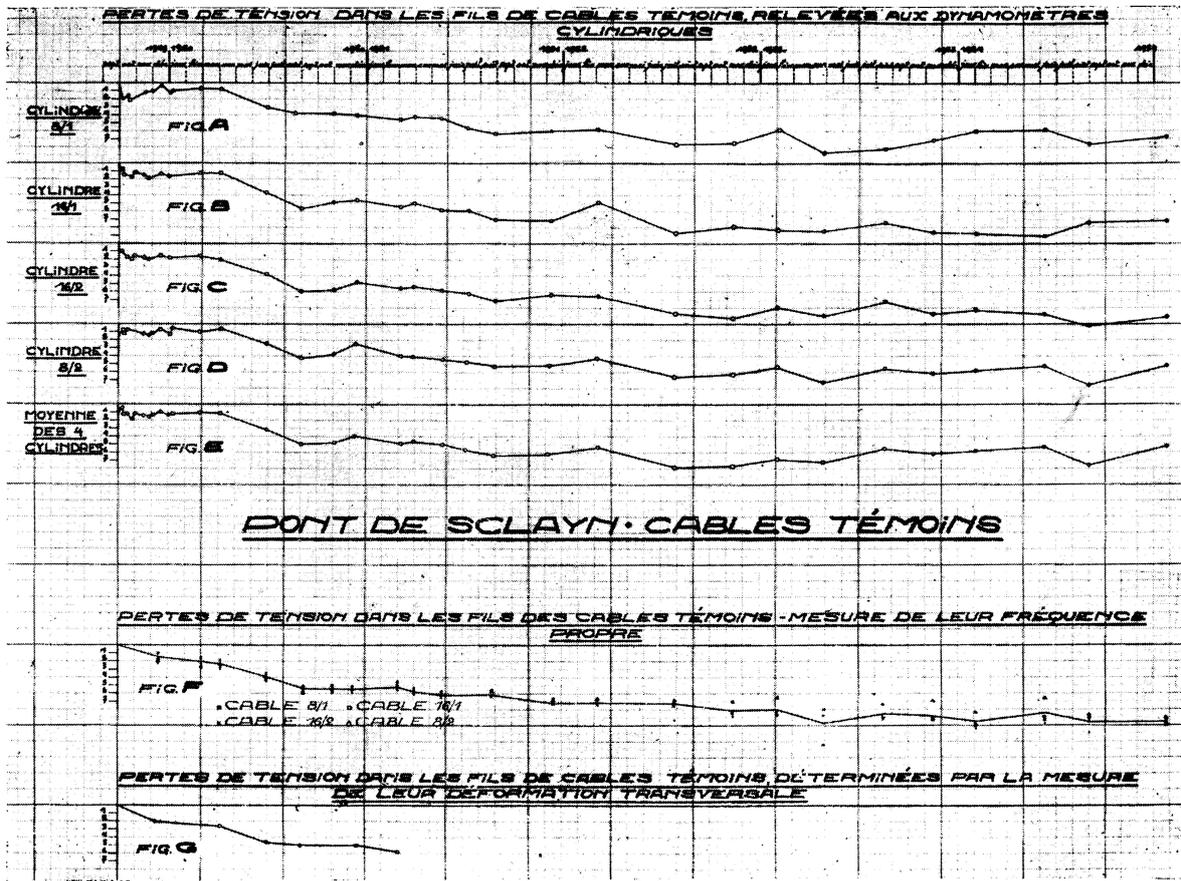


FIG. 4

manière précise *l'effort réellement* appliqué aux fils et de relever simultanément l'allongement correspondant, cette manière de procéder s'impose particulièrement dans les ouvrages en caisson dans lesquels les fils d'armature sont relativement plus libres que dans les poutres massives contenant des gaines.

R É S U M É

Il est rendu compte de l'étude, pendant 6 ans, du comportement d'un pont en béton précontraint en poutre en caisson continue de 127 mètres de longueur. La variation de l'effort de précontrainte a été déterminée suivant plusieurs méthodes de mesure; la perte de tension, dont l'analyse des causes est envisagée, est de l'ordre de 8 à 10 Kg/mm² soit 12 % environ de la tension initiale.

S U M M A R Y

The authors describe the observation, carried out for 6 years, of the behaviour of a prestressed concrete bridge with a continuous, 127 m long, box beam. The variation of the prestress was measured by different methods; loss of prestress, the cause of which is discussed, is approximately 8 to 10 Kg/mm², about 12 % of the original prestress.

ZUSAMMENFASSUNG

Während 6 Jahren wurde das Verhalten einer vorgespannten, durchlaufenden Brücke von 127 Metern Länge untersucht. Die Aenderung der Vorspannkraft wurde nach verschiedenen Messverfahren bestimmt; der Vorspannverlust betrug 8 bis 10 Kg/mm² was ca. 12 % der Initialvorspannung entspricht.

R E S U M O

Os autores descrevem o estudo, efectuado durante 6 anos, de uma ponte de betão preesforçado com viga contínua em caixão de 127 m de comprimento. A variação da tensão foi determinada por vários métodos; a perda de tensão, cujas causas são discutidas, é da ordem de 8 a 10 Kg/mm², ou seja cerca de 12 % da tensão inicial.