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

Band: 9 (1972)

Artikel: Mesure des variations de réactions d'appuis d'ouvrages hyperstatistiques en béton précontraint ou mixtes

Autor: Bretonnière, S. / Diruy, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9615

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mesure des variations de réactions d'appuis d'ouvrages hyperstatiques en béton précontraint ou mixtes

Messungen von Variationen von Auflagerreaktionen bei statisch unbestimmten, vorgespannten oder Verbundbauwerken

Measuring of Variations of Support Reactions at Undetermined Prestressed or Mixed Structures

S. BRETONNIÈRE M. DIRUY
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Paris, France

1. INTRODUCTION

L'étude expérimentale du comportement à long terme des ouvrages présente nombre de difficultés, eu égard aux techniques délicates de mesures in situ qu'elle implique. En ce qui concerne les ouvrages hyperstatiques, la mesure permanente des réactions d'appuis constitue un puissant moyen d'étude de la redistribution des contraintes due aux phénomènes à long terme imputables à la nature des matériaux constituants, à leur rhéologie (retrait et fluage du béton, relaxation des câbles de précontrainte) ainsi qu'aux variations climatiques environnantes (hygrométrie, température, ensoleillement).

De telles mesures nécessitent des capteurs devant répondre à des critères très particuliers :

- grande sensibilité, les variations de force à mesurer étant parfois très faibles par rapport à la charge permanente,
- absence totale de dérive, l'évolution des réactions devant pouvoir être suivie à très long terme,
- insensibilité aux sollicitations diverses d'ordre thermique ou mécanique (mouvements relatifs tablier-appui).

Les dynamomètres à déformation élastique présentent une dérive due au fluage du corps d'épreuve qui ne peut être éliminée que par une reprise périodique du zéro du capteur. Cette opération dans le cas des appuis de pont nécessite le déchargement du dynamomètre par un dispositif spécial reprenant les efforts. L'influence des sollicitations perturbatrices, mécaniques ou thermiques, est également difficile à éliminer d'où la mise au point d'un nouveau procédé qui utilise une cellule de charge ayant les qualités requises.

2. PRINCIPE DE LA CELLULE DE CHARGE

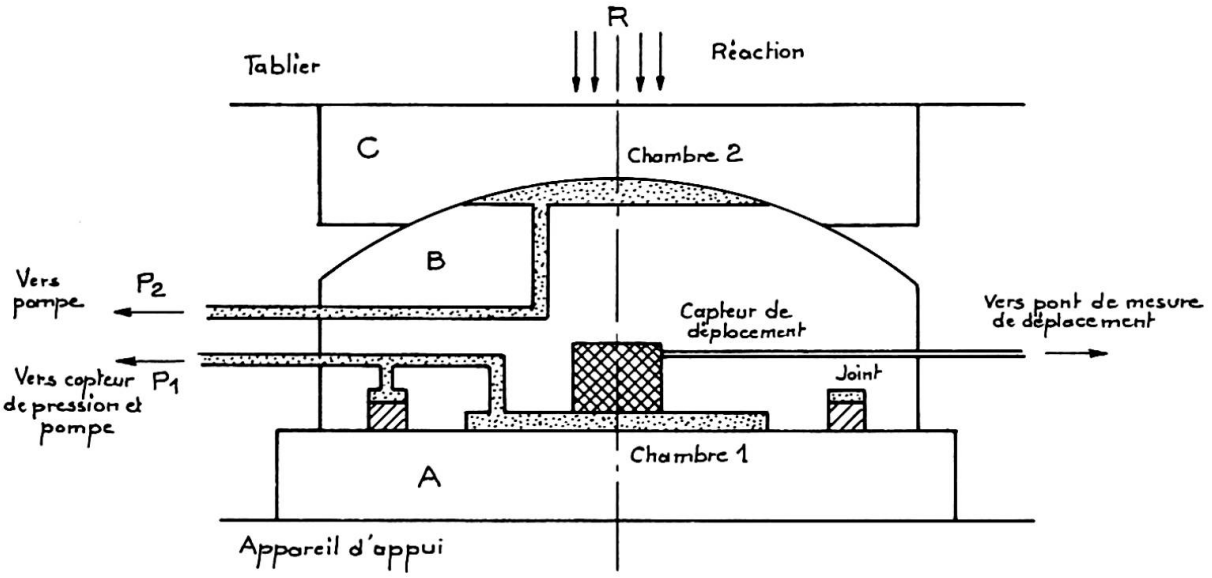


Fig. 1 - Schéma de fonctionnement

La cellule de charge directement interposée entre l'appui de l'ouvrage et le tablier, est constituée par 3 blocs rigides superposés (voir fig. 1 ci-dessus).

Ces blocs sont en contact par des faces planes rectifiées (A et B) ou par des surfaces sphériques (B et C). Deux chambres ménagées dans B peuvent être alimentées indépendamment sous pression d'huile au moyen d'une petite pompe à main.

La pression dans la chambre 1, développe à partir d'une certaine valeur une force qui équilibre la réaction d'appui et entraîne le soulèvement de B. Le déplacement relatif "d" de A et B, mesuré par un capteur incorporé à la cellule, est fonction de la pression hydraulique mesurée par un capteur indépendant de la cellule. Il faut atteindre un écartement de 50 à 60 μ pour éliminer tout contact entre B et C et obtenir, pour des déplacements inférieurs à 120 μ, une variation linéaire de p en fonction de d. La pente (α) de cette droite, traduisant la rigidité de l'ouvrage, est obtenue par des mesures de p de 10 μ en 10 μ. La pression p_o pour d = 0, obtenue par extrapolation, fournit d'après la courbe d'étalonnage la valeur de la réaction d'appui.

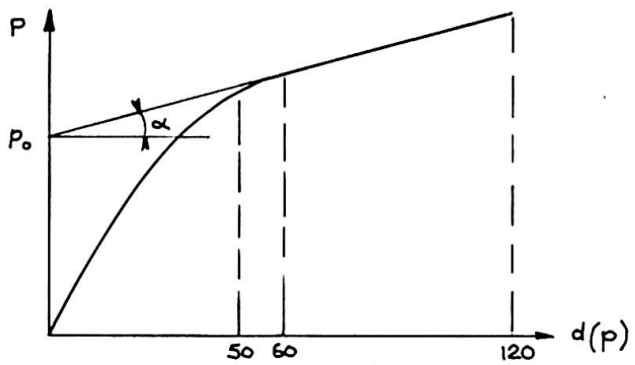


Fig. 2 - p = f (d)

Toutefois le fonctionnement correct du dynamomètre n'est assuré que si la réaction d'appui R est centrée sur la chambre 1 sans aucun moment entre les blocs A et B. Dans ce but, avant toute mesure, la chambre 2 est mise sous pression d'huile pour permettre à l'élément C de rotuler sans frottement sur coussin d'huile.

3. CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES

La force maximum mesurable avec une cellule de charge est fonction de la pression admissible dans la chambre et de sa surface.

La pression normale de service est de 250 bars et peut atteindre exceptionnellement 400 bars, ce qui permet de réaliser des cellules pour des forces de plusieurs centaines de tonnes.

Les erreurs de linéarité dues à la cellule de charge proviennent des variations possibles de la surface efficace de la chambre 1 ; le montage particulier du joint d'étanchéité permet de limiter cette erreur à 0,2 % pour des variations de pression comprises entre 2 bars et 400 bars.

La fidélité est très bonne et le pouvoir de résolution inférieur à 5.10^{-4} de la force mesurée. La cellule ne présente aucune hystérésis mesurable (vérifié lors d'étalonnage au 1/1000è près en laboratoire sur des cellules de force 100 KN).

Des variations de température entraînent des modifications de la section efficace de la chambre de l'ordre de 0,1 % pour $\Delta T = 40°C$.

La précision des mesures est étroitement liée aux caractéristiques de la chaîne de mesure de pression qui peut être réétalonnée fréquemment. Pour des domaines de variation de force très étendus pouvant entraîner des variations de pression comprises entre 1 bar et 400 bars, il est nécessaire d'utiliser plusieurs capteurs d'étendues de mesure différentes. Dans le cas des réactions d'appuis les variations excèdent rarement $\pm$ 15 % et la pression nominale du capteur est donnée en conséquence.

Ce procédé peut fournir la valeur des réactions d'appui avec une précision inférieure à $\pm$ 0,2 % à condition de disposer des moyens d'étalonnage en force.

4. UTILISATION PRATIQUE

Pour effectuer les mesures deux opérateurs sont nécessaires, l'un pour imposer la pression d'huile en fonction des déplacements désirés, l'autre pour mesurer cette pression grâce à un capteur à jauges de déformation et un pont de mesure statique de haute précision.

Pour les mesures de réactions d'appui, où chaque extrémité de travée est équipée de deux cellules de charge, on relève successivement les valeurs. Dans ces conditions la pente de la partie linéaire de la courbe $p = f(d)$ est surtout liée à la rigidité de torsion de l'ouvrage, la rigidité de flexion intervenant très peu.

5. APPLICATIONS

5.1 Modèle de pont mixte

Une ossature mixte acier-béton a fait l'objet d'une étude récente comportant notamment une série de mesures à moyen terme (quelques mois) ayant pour but une meilleure connaissance des effets du retrait de la dalle de béton sur le comportement de l'ouvrage. Ce dernier, construit dans le hall d'essais du Laboratoire Central des Ponts & Chaussées comportait 2 travées de 9,5 m (voir schéma fig. 3). Il reposait sur 6 appuis par l'intermédiaire de 6 pesons hydrauliques de capacité 100 KN (10 T) (photo de la fig. 3). Plusieurs sections étaient en outre équipées par divers moyens de mesures : jauges à fil résistant, extensomètres mécaniques et optiques, sondes de température, dispositifs optiques de mesure des flèches. Des dalles témoins constituées du même béton que celui du modèle devaient permettre de mesurer le retrait libre du matériau pris seul. Les mesures ont débuté en même temps que le coulage de la dalle. Les courbes de la fig. 4 résument les mesures de réactions d'appuis effectuées d'abord à intervalle très rapproché (1 h pendant la prise du béton) puis quotidiennement, ceci pendant 3 mois. La température et l'hygrométrie ambiantes furent maintenues sensiblement constantes pendant toute cette période ($t = 21° \pm 2$ $H_r = 60\ \% \pm 10\ \%$). Les pesons étaient disposés de la façon suivante :

pesons 1 et 4 - appui extrémité gauche

pesons 5 et 6 - " " droite

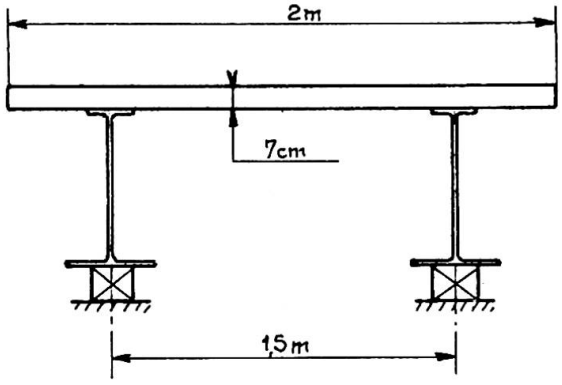
pesons 2 et 3 - " central

On pouvait vérifier le poids du modèle (constant aux pertes d'eau du béton près) en faisant la somme des réactions d'appuis après chaque mesure.

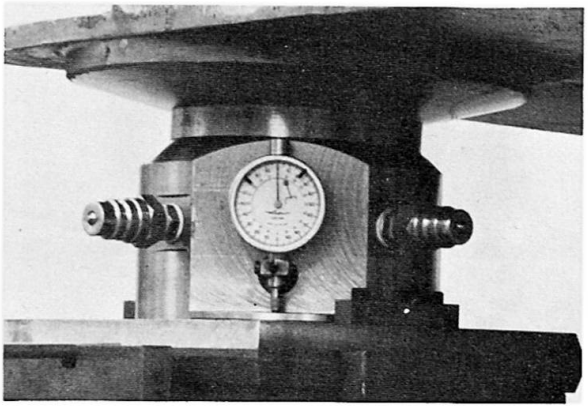
Le calcul des réactions hyperstatiques effectué à partir des mesures extensométriques est en parfaite concordance avec les réactions mesurées à l'aide des pesons hydrauliques. On remarque pendant la prise du béton l'influence des phénomènes thermiques différentiels sur les réactions d'appuis. La perte de poids due au décoffrage apparaît également ainsi que les charges additionnelles qui furent ensuite ajoutées aux extrémités de l'ouvrage pour compenser un délestage trop important de ces appuis dû au retrait, et qui risquait d'annuler les réactions d'extrémité.

Par exploitation conjointe des valeurs des réactions d'appuis et des déformations mesurées, on a pu suivre l'évolution de divers paramètres, notamment celle du coefficient d'équivalence $\left(n = \frac{E_A}{E_B}\right)$ et du retrait libre (ε_r).

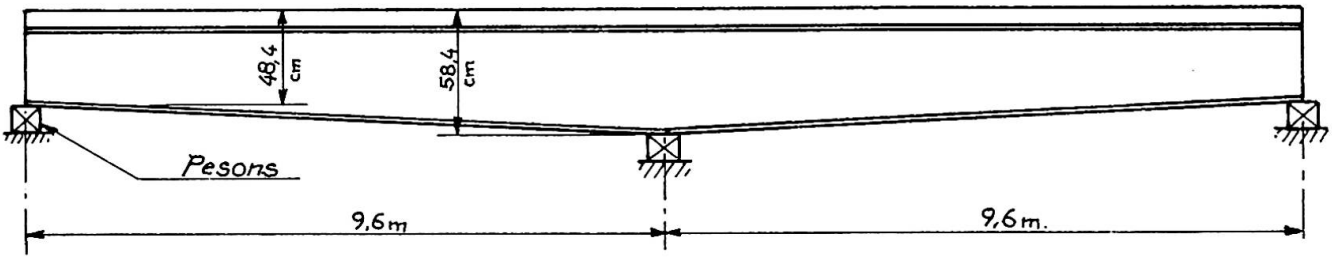
A la suite de ces essais il a été procédé à une dénivellation de l'appui central et à l'étude du fluage-relaxation consécutif. L'interprétation des mesures est en cours.



coupe transversale



peson de 100 KN



vue longitudinale

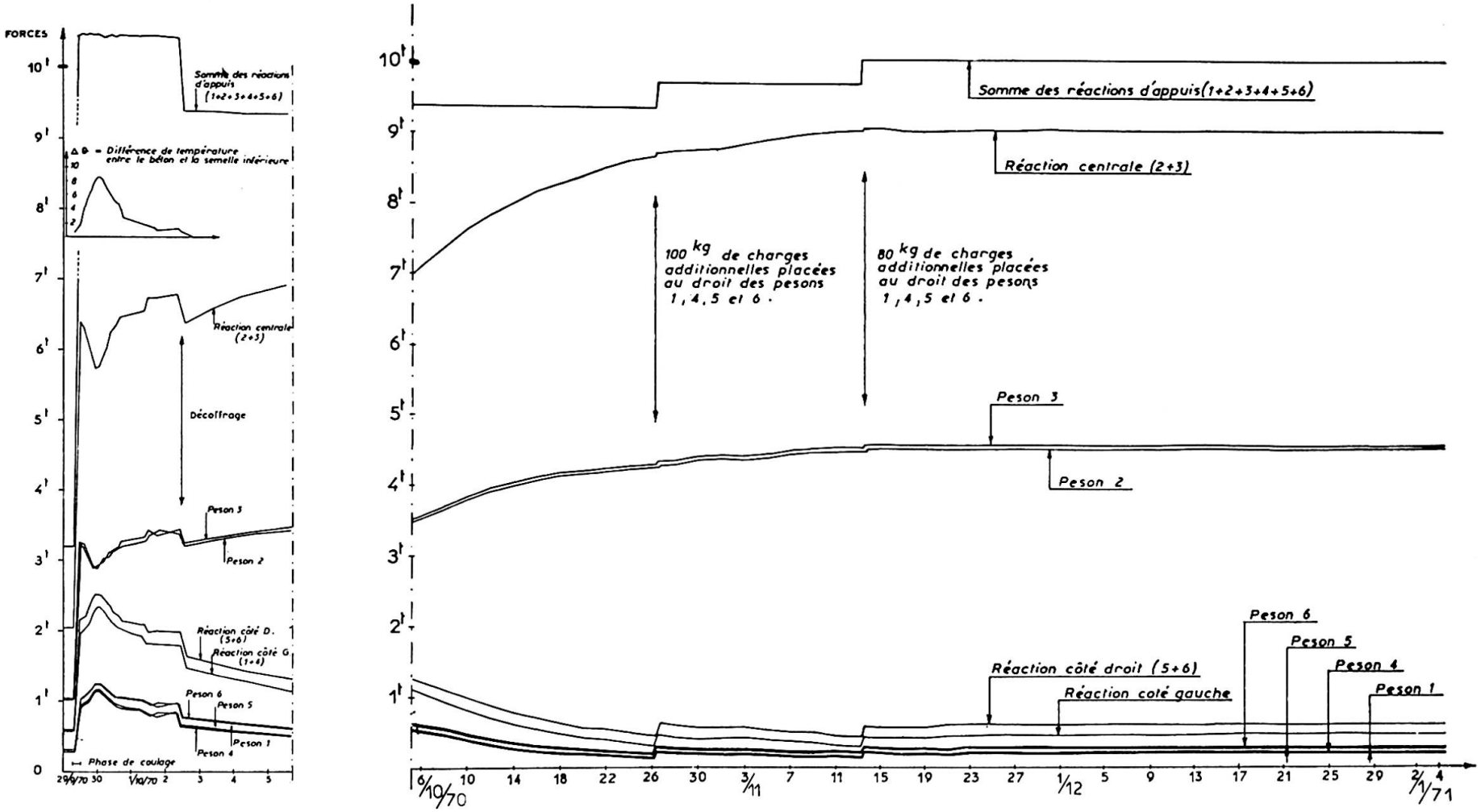
Fig. 3 - Essais d'une ossature mixte acier-béton

5.2 Ponts hyperstatiques en béton précontraint

5.2.1 Pont de Champigny-sur-Yonne

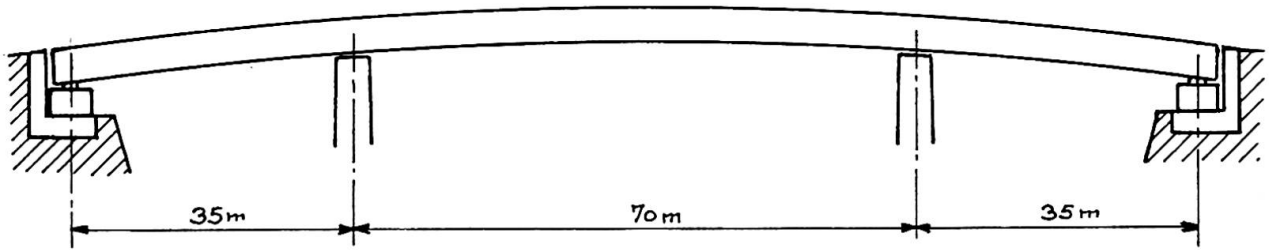
Ouvrage à 3 travées continues de 35 - 70 - 35 m de hauteur constante (voir fig. 5). Fin de construction : Avril 1970. Les culées de cet ouvrage ont été équipées chacune par 2 pesons hydrauliques de capacité 1000 KN (100 T), situés entre le tablier et les appuis néoprène-téflon. Les mesures qui ont été entreprises aussitôt après construction et sont poursuivies actuellement ont pour but principal de contribuer à l'étude de la redistribution des contraintes dues aux phénomènes de retrait-fluage-relaxation dans l'ouvrage. Elles sont effectuées une fois par mois environ. Les variations des réactions d'appuis mesurées sont modulées par les variations journalières de la température du béton. Celles-ci sont surtout dues à l'ensoleillement qui provoque un gradient thermique entre les parties supérieure et inférieure du tablier ; ce gradient amène une déformation différentielle des fibres longitudinales des hourdis et des âmes d'où variations de courbure de l'ouvrage et redistribution des réactions entre les piles et les culées. Le calcul des variations de réactions imputables à ce phénomène thermique est possible si l'on connaît la distribution des températures dans une section. On a donc placé convenablement des sondes thermiques qui renseignent à chaque instant sur la température du béton et permettent d'établir des corrections aux mesures de réactions sur culées.

Les courbes de la fig. 5 résument les mesures déjà effectuées. Après correction les courbes présentent une allure assez régulière

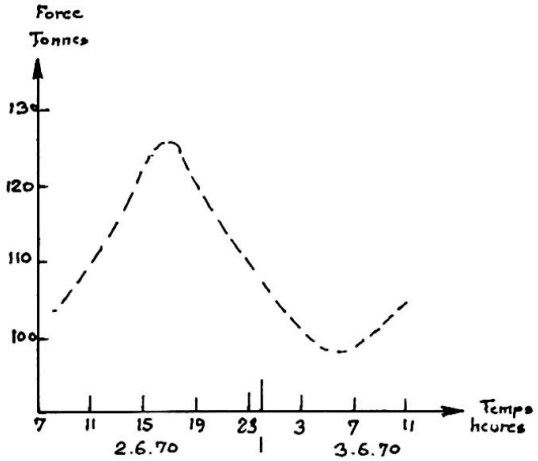


. fig 4. Modele de pont mixte - Etude du retrait

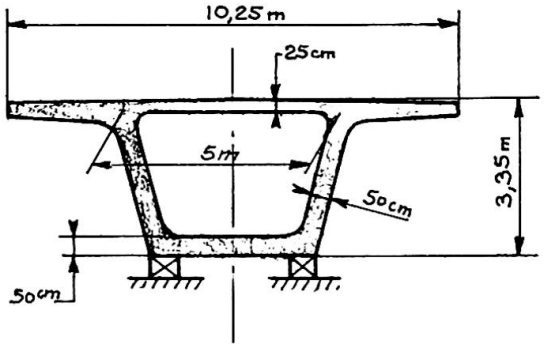
Evolution des reactions d'appuis



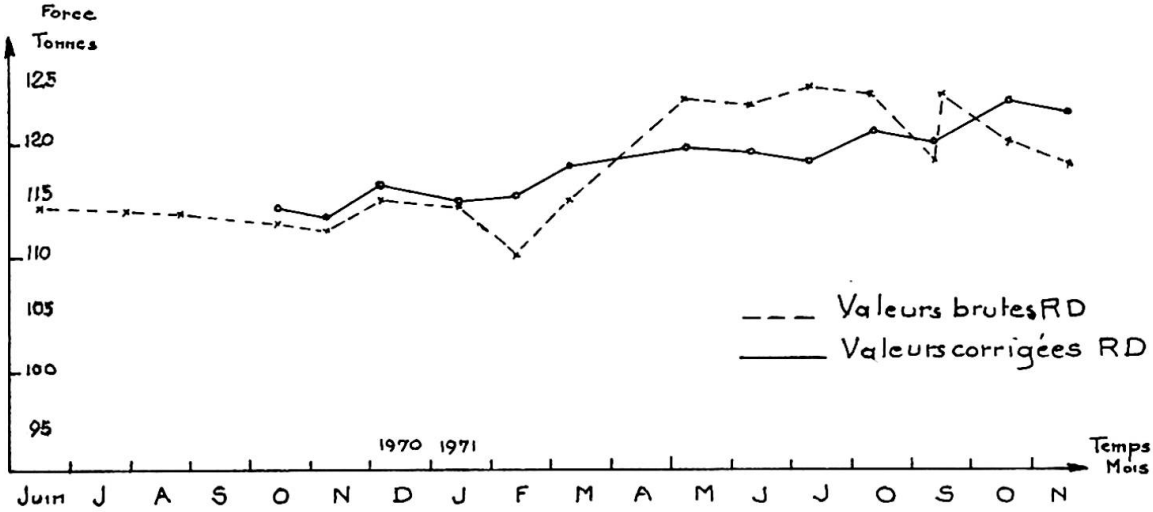
vue longitudinale



effet de l'ensoleillement



coupe transversale
du tablier



évolution des réactions d'appuis rive droite

Fig. 5 - PONT DE CHAMPIGNY S/YONNE

ascendante (8 tonnes pour 1 an) qui peut être due à l'adaptation de l'ouvrage par fluage relaxation. L'interprétation de ces résultats ne fait que débuter et ne sera sérieusement engagée que lorsque les mesures auront été faites sur un laps de temps suffisant (2 ans environ).

Parallèlement, l'influence de l'ensoleillement sur l'ouvrage a été étudiée par des campagnes de mesures continues s'étendant sur 24 heures au moins. Au cours de l'une de ces campagnes des variations de 24 % de la réaction sur culée ont été constatées (fig. 5). Il s'agit probablement d'un cas extrême pour cet ouvrage mais des variations journalières de 15 ou 20 % sont courantes l'été. De telles constatations incitent assurément à la réflexion car l'ouvrage de Champigny n'est pas exceptionnel par sa situation géographique et nombre d'ouvrages de même type doivent subir des conditions climatiques plus sévères.

5.2.2 Pont de Tourville (sur la Seine)

Une étude analogue à celle concernant le pont de Champigny a été récemment entreprise sur un ouvrage en Béton Précontraint à 3 travées continues de 60 – 90 – 60 m , mais d'inertie variable.

Des pesons hydrauliques sont disposés sur les culées et la réaction par culée est de l'ordre de 2000 KN. Les mesures ont débuté en Mai 1971 et il est trop tôt pour en donner des résultats intéressants.

RESUME

Un dynamomètre hydraulique très sensible, sans dérive, et de haute fiabilité a été mis au point pour les mesures de réactions d'appuis des ouvrages.

Deux types d'applications en ont été faites :

1) Modèle de Pont Mixte étudié en hall d'essais -

   Etude du retrait de la dalle de béton et des effets d'une dénivellation d'appuis.

2) Ouvrages en béton précontraint : Champigny-sur-Yonne et Tourville.
   Etude de la redistribution des réactions d'appuis due à l'adaptation par fluage-relaxation de l'ouvrage.

   Etude de l'influence des gradients thermiques sur la valeur des réactions d'appuis.