Etude expérimentale d’un nouveau type de pont suspendu

Autor(en): **Campos e Matos, Maria Emilia**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **8 (1968)**

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-8824

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Etude expérimentale d'un nouveau type de pont suspendu

Untersuchungen an einem neuen Hängebrückentyp

Experimental Model Tests for Design of a New Type of Suspension Bridge

MARIA EMILIA CAMPOS E MATOS
Mozambique

1 - INTRODUCTION

La structure du pont sur le Zambèze, à Tête, correspond à une nouvelle conception de pont suspendu, dont son auteur, le Professeur Edgar Cardoso, définit le fonctionnement en le synthétisant selon les considérations suivantes:

"De ce que l'on connait du fonctionnement structural des ponts suspendus, des détails de leurs éléments constitutifs et des procédés d'exécution et, d'un autre côté, de l'avance de la technique du précontraint au cours des dernières années, on est arrivé à concevoir une structure entièrement auto et précontrainte, formée par un ensemble de câbles tendus, constituant une succession de mailles triangulaires, tetraédriques ou pyramidales interreliées. De cette interliaison resulte une espèce de poutre "spatiale" continue, que l'on peut dire exclusivement formée de câbles tendus à l'exception des poutres transversales d'appui du tablier, et qui est pratiquement insensible aux variations termiques, relativement aux efforts dans les tirants de suspension, donc apte à supporter les solicitations de travail et du vent."

A la faveur de circonstances favorables, est en construction au Mozambique, pour la première fois, un pont de ce genre; innovation technique, autant par la façon dont sont utilisés les câbles de rigidité précontraints qui substituent les poutres de rigidité des ponts suspendus conventionnels, que par le système de contreventement transversal imaginé.

Le pont est implanté sur la Route Nationale de Tête au Nyassaland, sa culée de rive droite jouxtant la Forteresse de la ville.

Le pont traverse les 720 mètres de largeur du fleuve, avec ses trois travées centrales de 180 mètres et deux latérales de 90 mètres. La largeur totale du pont est de 11,20 mètres, avec une chaussée de 7,20 mètres et deux trottoirs latéraux de 2 mètres chaque.

La structure n'a pas, comme les ponts suspendus classiques, des poutres longitudinales de rigidité. Ces poutres sont remplacées par deux câbles précontraints qui suivent une courbe rasante, parallèle à la route. Ces câbles de rigidité, avec la série des

tirants de suspension et les câbles funiculaires, constituent dans leur ensemble une structure triangulée tendue, qui permet de donner au pont un travail mixte de poutre continue et de pont suspendu.

A l'exception des câbles, toute la atructure est en béton, le tablier étant en précontraint et les tours et attaches en béton armé.

Le tablier est constitué de tronçons indépendants, de 10 mètres de long, appuyés sur les poutres transversales avec libre dilatation, à l'exception de deux de leurs points situés selon une diagonale pour que les tronçons du tablier fonctionnent de "diagonales", les poutres transversales de "montants" et les câbles précontraints de "ailes". Les tronçons du tablier sont formés d'une série de poutres longitudinales précontraintes, reliées transversalement par la dalle et par des traverses fluctuantes.

Les quatre tours sont en béton armé, chacune constituée par deux colonnes reliées à leur partie supérieure par un système de contreventement transversal. Au-dessous du tablier, les deux colonnes de chaque tour prennent appui sur base commune, appuyée à son tour sur des cylindres de fondation, descendus par "havage".

Les culées sont également en béton armé, formant une espéce de caissons contreventés intérieurement. Les diagonales de traction sont en béton précontraint.

Le présent rapport a trait à certaines études expérimentales faites au Laboratoire d'Essais de Matériaux et de Mécanique du Sol, de Mozambique, sur un modèle du pont à l'échelle 1:50, soit d'une longueur totale de 14,40 mètres.

2 - DIMENSIONEMENT DU MODÈLE

Pour fixer l'échelle du modèle, nous avons voulu que les éléments structuraux aient des dimensions suffisantes pour pouvoir représenter avec exactitude les éléments correspondants du prototype et que l'on puisse utiliser comme câbles des fils d'acier ayant des propriétés mécaniques identiques à celles des aciers des câbles réels.

Le modèle du pont, à l'échelle 1:50, a trois portées centrales de 3,60 mètres chacune et deux portées extrêmes, chacune de 1,80 mètre. La largeur du tablier, entre les tirants de suspension est de 22,4 centimètres. Les tours centrales mesurent au-dessus de leur base 69,7 centimètres et les tours latérales 65,7 centimètres. La hauteur de toutes les tours, au-dessus du tablier, est de 59,2 centimètres.

Nous avons déterminé les valeurs des forces des différents systèmes de sollicitation de façon que les tensions développées dans les câbles funiculaires, tirants de suspension et câbles précontraints du modèle, soient égales aux tensions produites dans les mêmes éléments de la structure réelle par les sollicitations correspondantes. Procédant ainsi, nous avons maintenu les conditions de similitude mécanique du modèle et du prototype, même pour des déformations du même ordre de grandeur que celles qui se produisent dans les ponts suspendus conventionnels.

Dans la figure 1 on présente le dimensionement du modèle.

- TABLIER - Le tablier du pont est constitué par des tronçons de béton précontraint de 10 mètres de long, appuyés sur des poutres metalliques et fixés à celles-ci selon une diagonale, de manière à permettre la libre dilatation du pont dans la direction transversale sans perte de stabilité structurale. Dans le modèle, les poutres transversales ont été représentées par des pièces d'acier

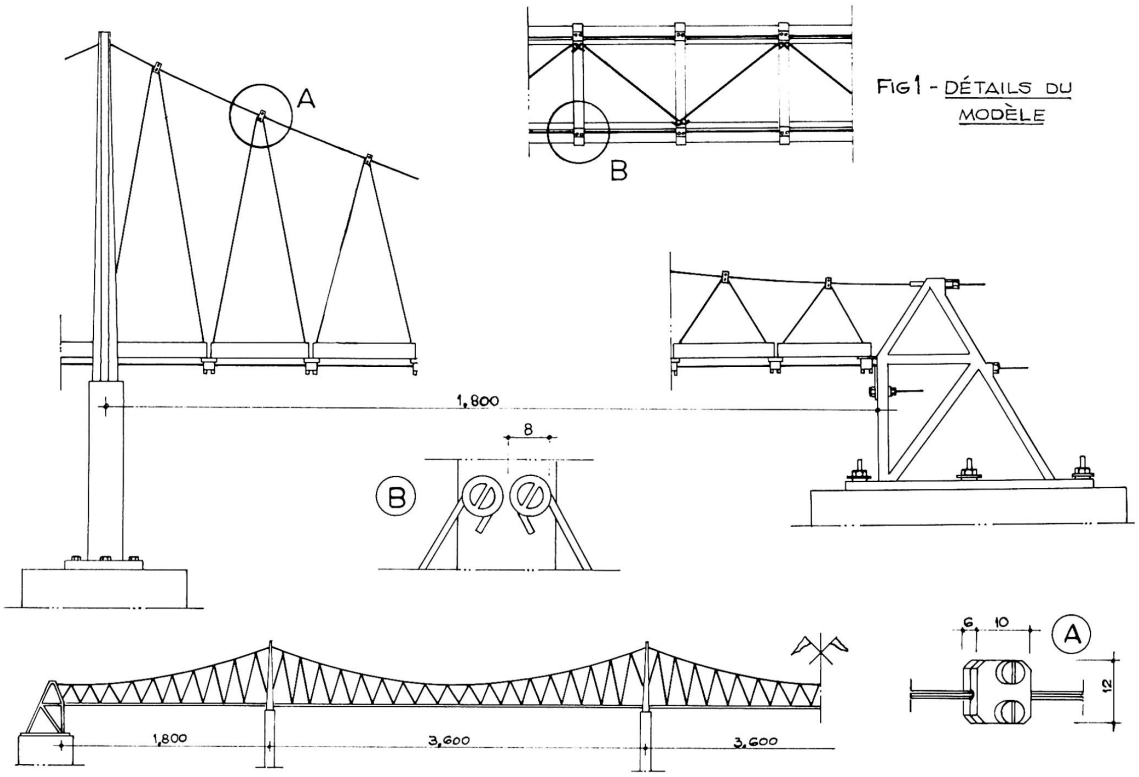
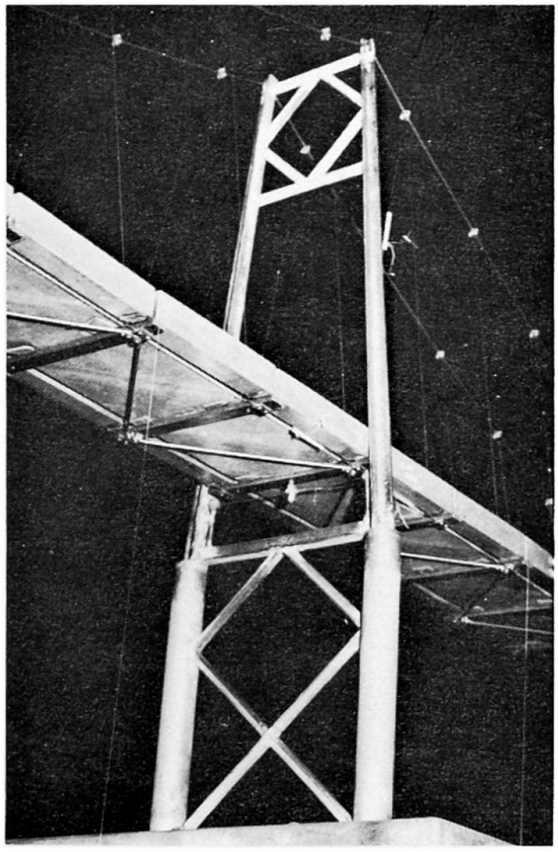


FIG 1 - DÉTAILS DU MODÈLE



à l'échelle choisie, et le tablier a été remplacé par des crochets d'acier qui les relient sur des diagonales consécutives. Les poutres transversales sont pourvues de dispositifs d'amarrage étudiés en vue d'assurer, sous la face inférieure, l'attache des câbles de rigidité et, sur la face supérieure, celle des tirants obliques de suspension.

- CABLES FUNICULAIRES, TIRANTS DE SUSPENSION ET CABLES DE RIGIDITE - Tous les câbles furent représentés dans le modèle par des fils d'acier spécial, de diamètre convenable.

L'attache des câbles funiculaires et des tirants obliques de suspension fut l'object de soins particuliers, afin de garantir que les systèmes triangulaires du modèle soient parfaitement semblables à ceux du pont, lorsqu'ils sont sollicités dans les mêmes conditions. Comme avant le montage des câbles leur propre poids n'agissait pas, il fallut leur donner des longueurs telles que, après qu'ils supportent le tablier et les charges correspondantes à leur propre poids, ils définissent exatement la geometrie du système du project, ce qui a été verifié après avec grande précision.

- TOURS - Les quatre tours du pont sont en béton armé. Cependant, dans le modèle, nous avons construit les tours en tubes d'acier, et en profilés avec rigidité équivalente. Toutes les tours ont été essayées avant le montage du modèle. Les essais consistèrent à mettre la tour en position horizontale, parfaitement encastrée dans la base et leur appliquer des forces distribuées au long de la poutre de couronnement, en mesurant les déplacements correspondants.

- CULEES - Les culées du modèle ont, au-dessus du tablier, une configuration semblable à celle du prototype. La partie inférieure a été dimensionnée de façon à constituer un système rigide, donc pratiquement indéformable, tant pour les déformations longitudinales, que transversales ou de torsion.

Des dispositifs spéciaux ont été prévus dans les culées, tant pour l'ajustement des câbles funiculaires, que pour la mise en traction des câbles de rigidité.

Les tours et les culées ont été placées dans leurs positions avec le plus grand soin, en vérifiant tous les alignements avec un niveau de haute précision.

3 - RELATIONS DE SIMILITUDE

Le modèle a été construit à l'échelle 1:50. Cependant, pour réduire légèrement les valeurs des charges équivalentes aux charges permanentes et aux surcharges, sans altérer l'échelle des tensions, les câbles ont été représentés avec la moitié des sec-

tions correspondant à la similitude géométrique et les tours furent construites avec des moments d'inertie également dans le même rapport.

Ainsi peut-on déterminer les déplacements et les tensions de la structure réelle à partir des valeurs observées sur le modèle grâce aux rapports:

- déplacements linéaires - $d_p = 50\, d_m$
- déplacements angulaires- $\alpha_p = \alpha_p$
- tensions - $\sigma_p = \sigma_m$

ou les indices m et p désignent respectivement le modèle et le prototype.

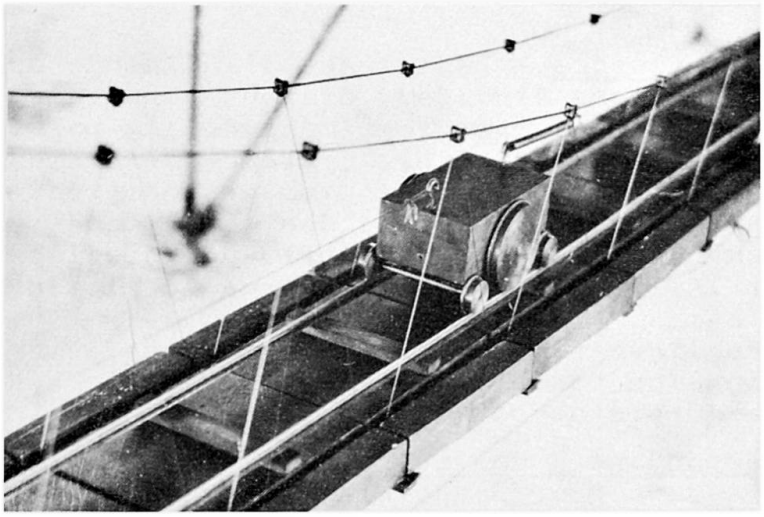
Pour obtenir les déplacements et les tensions à ces échelles, nous avons utilisé des sollicitations qui satisfaisaient aux rapports suivants:

$$F_m = \frac{F_p}{2\lambda^2} = \frac{F_p}{5000}$$

$\frac{1}{\lambda}$ représente l'échelle du modèle.

4 - SYSTEMES D'APPLICATION DES SOLLICITATIONS

- CHARGES PERMANENTES - La charge permanente correspondant au propre poids de la structure et aux autres charges permanentes, a été constituée par des poids de plomb uniformément distribués sur le tablier.



Nous avons placé trois blocs de plomb par tronçon de 20 centimètres de tablier, appuyés sur deux poutres transversales consécutives. La dimension des poids a été choisie de façon qu'il soit possible de les placer sur le tablier parfaitement séparés les uns des autres, appuyés sur des cales de caoutchouc pour ne pas modifier la rigidité de la structure et pour garantir que la sollicitation qu'ils représentent agisse sur le modèle, dans les mêmes conditions que le poids réel agira sur la structure du prototype. On les a également dimensionné de façon qu'ils aient tous la même hauteur.

La charge permanente par tronçon étant d'environ 80 tonnes, la charge équivalente appliquée au modèle était de 16 kg, que l'on obtint, ainsi qu'on l'a vu, avec des parallélipipèdes de plomb couvrant pratiquement toute la largeur du tablier et ayant 35 millimètres de haut (hauteur qui correspond à une épaisseur acceptable du tablier). Si l'on avait adopté une rigidité proportionnelle à l'échelle 1:50, les charges a appliquer seraient doubles et, par conséquent, les blocs de plomb qui les représenteraient devraient avoir le double de la hauteur de ceux-ci, ce qui conduirait à une hauteur exagérée qui risquerait d'avoir une influence sur la déformation transversale ou de torsion du tablier.

- SURCHARGE MOBILE CONCENTRÉE - La surcharge mobile correspondant à un camion de 50 tonnes était représentée par un poids de plomb de 10 kg. Le plomb, comme on le voit sur la photographie, avait la forme d'une voiture ayant un seul essieu porteur; pour le maintenir en équilibre, il était pourvu de deux autres essieux montés sur ressorts pour rendre minime la charge transmise par eux. Le véhicule glissait sur deux rails appuyés sur les poids centraux en plomb, représentant le tablier du pont. Un câble d'acier reliait la charge mobile à un système de démultiplication, commandé par une manivelle, parmettant de déplacer la charge mobile dans les deux sens. Le même système, avec dispositif de démultiplication, faisait déplacer les tambours des déflectomètres enregistrant les lignes d'influence des flèches, en relation avec le mouvement de la charge.

- SURCHARGE UNIFORMEMENT DISTRIBUÉE - La charge uniforme était également constituée par des blocs de plomb prismatiques, au poids approximatif de 2 kg, placés sur la partie centrale du tablier, à raison de 2 par tronçon, ce qui correspond à une surcharge dans le prototype de 20 tonnes par tronçon de 10 mètres.

- CHARGE CORRESPONDANT À LA SOLLICITATION DU VENT - Pour réaliser la sollicitation correspondante à l'action du vent, nous avons appliqué au modèle des forces horizontales. Le systèmes de sollicitation était formé par 32 forces transmises directement aux poutres transversales par des fils d'acier.

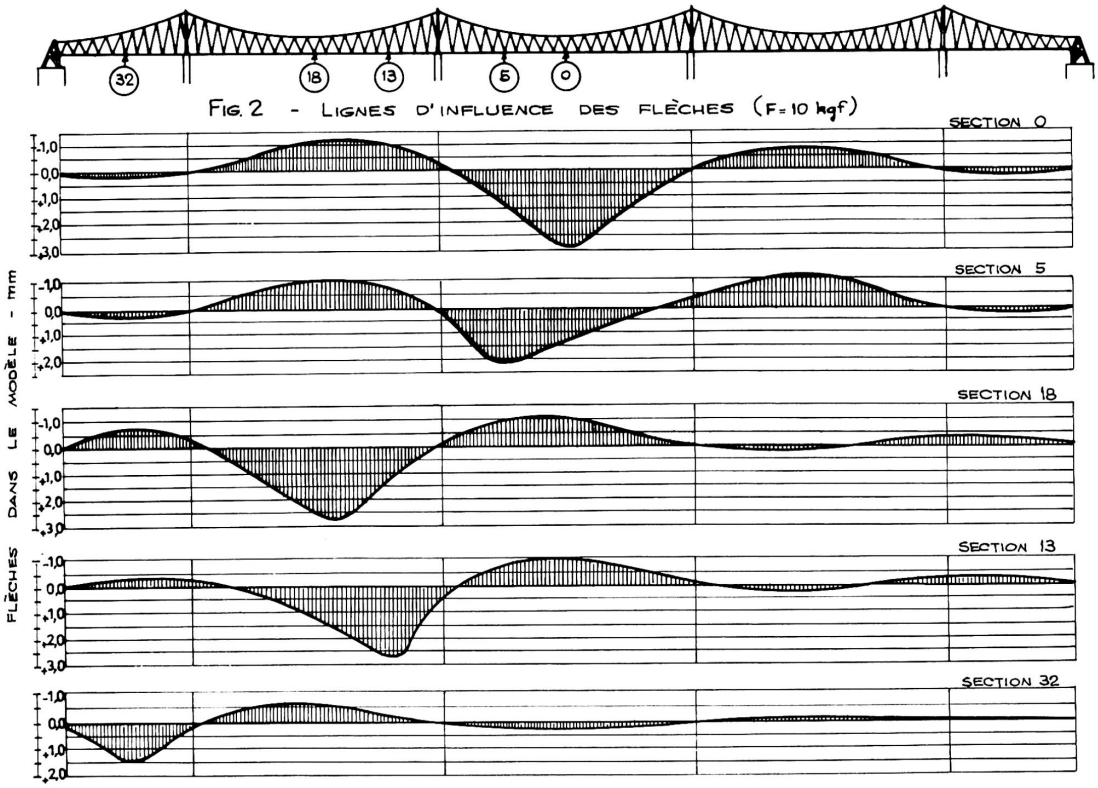
5 - ETUDE DU TABLIER

5.1 - Lignes d'influence des flèches - Les lignes d'influence des flèches, dans les diverses sections étudiées, étaient directement tracées sur le cylindre enregistreur, sur imprimé spécial, par le mouvement de la charge mobile sur le tablier, système extrêmement pratique et rapide. Cepedant pour obtenir une plus grande précision, nous avons aussi mesuré les flèches avec des déflectomètres à lecture directe. Pour chacune des lignes d'influence étudiées, on mesura les flèches pour les positions de la charge mobile sur les 73 poutres transversales.

La figure 2 montre les lignes d'influence des flèches déterminées pour quelques sections du pont. Elles représentent à l'échelle 1:50 les flèches du prototype.

5.2 - Flèches maxima correspondant à des surcharges uniformes - - On a aussi effectué des essais pour la détermination des flèches maxima correspondant à des surcharges uniformement répar - ties. Les hypothèses de répartition des surcharges sur le tablier ont été choisies de façon à produire des flèches maxima, ce qui correspond à charger les lignes d'influence dans les zônes des aires de même signe.

Trois hypothèses de charge ont été considérées: surcharge uniforme agissant sur la travée centrale et sur les deux travées extrêmes, surcharge uniforme agissant seulement sur les deux travées intermédiaires et surcharge uniforme sur tout le tablier. La surcharge était constituée par deux blocs de plomb appliqués sur chaque tronçom et correspondant à une charge de 4,155 kg par tronçon de tablier, soit environ le quart de la charge permanente (20 tonnes par tronçon de 10 mètres). Les flèches maxima mesurées sont données dans le tableau suivant.


32
18
13
5
0
FIG. 2 - LIGNES D'INFLUENCE DES FLÈCHES (F=10 kgf)
FLÈCHES DANS LE MODÈLE - mm
SECTION 0
SECTION 5
SECTION 18
SECTION 13
SECTION 32
-1,0
0,0
+1,0
+2,0
+3,0

surcharge sur les travées	flèches au milieu des travées (mm)	
	centrale	intermédiaires
centrale et extrêmes	- 12,50	+ 11,50
intermédiaires	+ 15,80	- 8,90
toutes les travées	+ 1,85	+ 2,70

6 - ÉTUDE DES TOURS

6.1 - Tours isolées - Avant de les monter dans le modèle comme on l'a déjà dit, les tours ont été essayées afin de déterminer les déplacements horizontaux longitudinaux le leurs sections de couronnement, lorsqu'elles sont sollicitées par des forces également horizontales. Pendant l'essai, les tours étaient encastrées de manière rigide dans la base. Nous avons appliqué des forces uniformément distribuées sur la traverse de couronnement des tours, et mesuré les déplacements dans la direction de la force de sollicitation. On a vérifié que les déformations étaient entièrement proportionnelles aux sollicitations et parfaitement élastiques.

La figure 3 montre le schéma du montage d'éssai et les valeurs des déplacements mesurés.

6.2 - Tours dans l'ensemble du pont

6.2.1 - Lignes d'influence des déplacements des tours - Nous avons aussi analysé le comportement des quatre tours dans le modèle. On a déterminé les lignes d'influence des déplacements horizontaux longitudinaux de chacune d'elles, pour 73 positions de la charge mobile sur le tablier. La charge mobile d'essai était, le charriot pesant 10 kg.

Les lignes d'influence des déplacements horizontaux longitudinaux sont représentées à la fig. 3. Nous considérons comme positifs les déplacements des tours dans la direction de la rive dont elles sont le plus proche. Les lignes d'influence représentent, à l'échelle 1:50, les lignes d'influence des déplacements horizontaux longitudinaux des tours de la structure réelle pour une sollicitation correspondant à un camion d'environ 50 tonnes.

En analysant les lignes d'influence, on voit que les déformations maximales des tours centrales, donc les moments flecteurs les plus grands, correspondent à charger la travée centrale, ou les deux travées intermédiaires.

Les déformations des tours latérales sont, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, considérablement moindres que celles des tours centrales.

Les valeurs les plus grandes des déplacements positifs et négatifs, mesurés pour chaque tour, étaient:

Tours centrales - charge sur la poutre transversale 17 .... + 0,74 mm
- charge sur la poutre transversale 1 ..... - 0,78 mm

Tours latérales - charge sur la poutre transversale 31..... + 0,29 mm
- charge sur la poutre transversale 19 .... - 0,33 mm

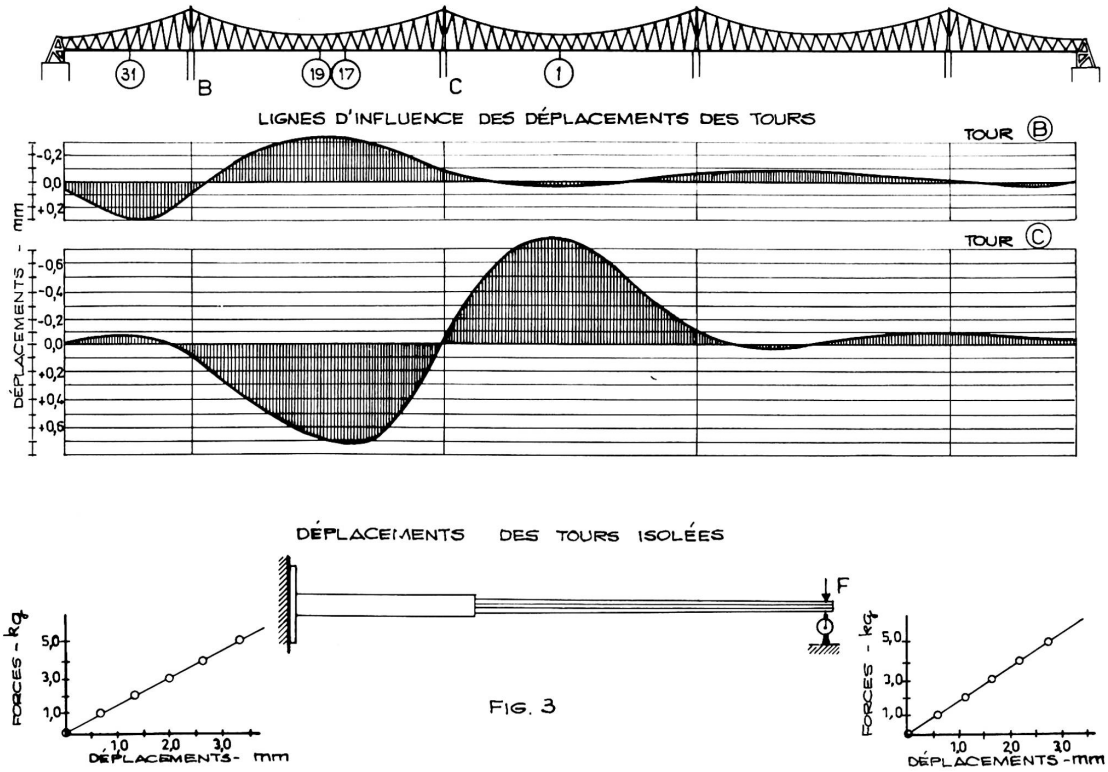

31
B
19
17
C
1
LIGNES D'INFLUENCE DES DÉPLACEMENTS DES TOURS
TOUR B
TOUR C
DÉPLACEMENTS - mm
-0,2
0,0
+0,2
-0,6
-0,4
-0,2
0,0
+0,2
+0,4
+0,6
DÉPLACEMENTS DES TOURS ISOLÉES
F
FORCES - kg
5,0
3,0
1,0
1,0
2,0
3,0
DÉPLACEMENTS - mm

FIG. 3

6.2.2 - Déplacements des tours correspondant à des surcharges uniformes - Nous avons encore mesuré les déplacements horizontaux longitudinaux du couronnement des quatre tours par des sollicitations correspondant à des surcharges uniformément réparties. Les hypothèse de répartition des surcharges sur le tablier ont été choisies de manière à produire des déplacements maxima dans les tours, ce qui correspond à charger les lignes d'influence dans les zônes des aires de même signe. On a considéré trois hypothèses, la dernière n'étant que pour vérification, puisqu'elle correspond à l'action conjuguée des deux premières.

Ainsi, dans la première hypothèse, on a considéré la surcharge uniforme n'agissant que sur les portées intermédiaires; dans la deuxième, la même surcharge agissait sur la portée centrale et les deux extrêmes; la troisième considérait la surcharge sur toutes les portées. Les déplacements mesurés ont été les suivants:

surcharge sur les portées	déplacements en mm	
	tours extrêmes	tours centrales
intermédiaires	- 2,50	+ 4,40
centrale et extrêmes	+ 2,30	- 4,15
toutes portées	- 0,04	+ 0,05

Les déplacements mesurés dans la troisième hypothèse, surcharge agissant sur tous les tronçons du tablier, auraient dû être nuls si les tours symètriques jouissaient d'une rigidité égale. Les valeurs de ces déplacements montrent bien que les erreurs dues à diverses causes, telles que, inégalité des poids, variations de température durant l'essai, vent, etc. sont très petits et absolument nègligeables.

Les valeurs des déplacements horizontaux longitudinaux indiqués représentent, à l'échelle 1:50, les déplacements correspondants de la structure réelle pour des surcharges uniformes, réparties de la même façon, de 20 tonnes par tronçon, soit 2 tonnes par mètre linéaire de pont.

Comparons maintenant les valeurs ainsi déterminées, avec les valeurs obtenues au cours des essais des tours isolées. Si nous considerons l'impulsion produite sur le câble funiculaire, supposé isolé, par la surcharge qui agit sur le tablier, nous obtenons:

$$H = \frac{S\,L^2}{8\,f} = 85 \text{ kg}$$

Les déplacements observés sur le modèle du pont, pour la même surcharge, était, comme on l'a déjà vu:

tours extrêmes ..... d = - 2,50 mm
tours centrales ..... d = + 4,40 mm

Si nous considérons maintenant la déformation des tours isolées pour des charges horizontales longitudinales appliquées sur leurs couronnements, nous voyons, à partir des résultats des essais représentés dans la figure 3, que ces déplacements que nous venons d'indiquer, correspondent à l'action des forces suivantes:

tours extrêmes ..... F = 4,500 kg
tours centrales ..... F = 6,800 kg

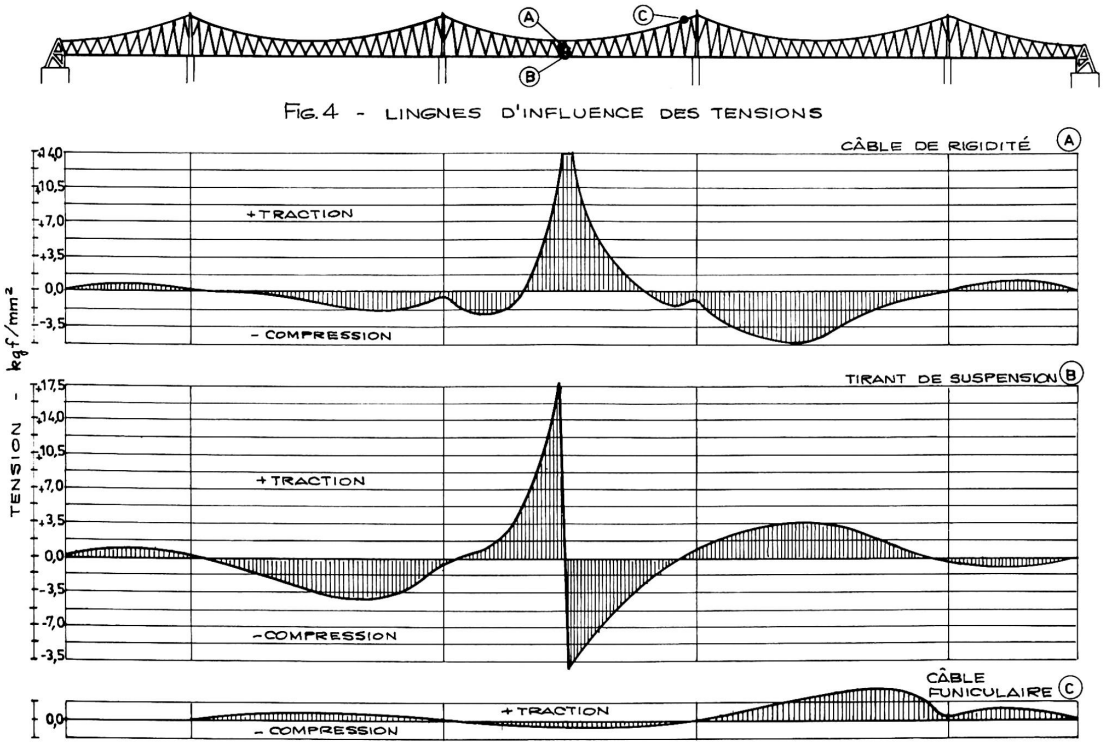


FIG. 4 - LINGNES D'INFLUENCE DES TENSIONS

Ainsi peut-on conclure que les câbles funiculaires, les tirants de suspension et les câbles de rigidité, dans leur fonctionnement d'ensemble, font que les impulsions sur le couronnement des tours se réduisent à des valeurs inférieures au dixième des valeurs des déplacements correspondant à l'action isolée des câbles funiculaires (d'environ 85 kilos, pour environ 7 kilos).

7 - LIGNES D'INFLUENCE DES TENSIONS DANS LES CÂBLES

Pour la détermination des lignes d'influence des tensions on a utilisé des extensomètres électriques. La charge mobile a été constituée par le charriot déjà référé qui représente un camion de 50 tonnes.

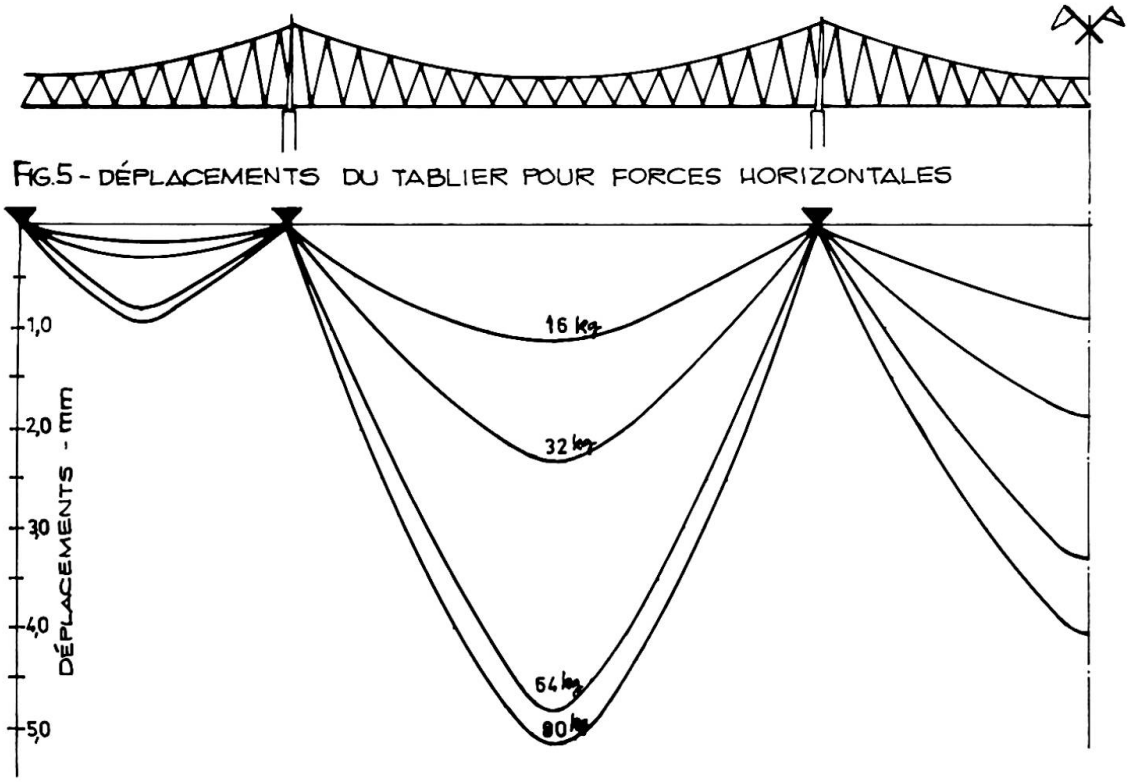
Les lignes d'influence des tensions pour quelques câbles sont présentées sur la figure 4. Les tensions dans les câbles du prototype sont égalles à celles du modèle.

Il faut observer que les tensions de compression ne pourront se développer que jusqu'à l'annulation des tensions de traction produites par les charges permanentes.

8 - ACTION DU VENT

La figure 5 représente les diagrammes des déplacements du tablier pour différentes forces horizontales appliquées.

La forme des diagrammes met bien en évidence que, lorsque les forces augmentent, à des accroissements égaux de forces, correspondent des accroissements, de valeur décroissante, dans les



déplacements. Ceci est plus net dans les sections les plus proches des sections fixes.

RÉSUMÉ

Cette comunication se rapporte aux éssais réalisée sur modèle réduit d'un pont route pour la traversée du Zambeze à Tete (Mozambique). Il s'agit d'un pont suspendu d'un type spécial, prècontraint, à câbles porteurs continus entre les massifs d'encrage, sans les poutres de rigidité des solutions conventionnelles. Le pont se develope en deux travées latérales de 90 mètres de portée et par trois travées centrales de 180 mètres de portée. Il a une longueur totale de 762 mètres et une largeur de 11,60 mètres.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Bericht beschreibt die durchgeführten Versuche am Modell der Hängebrücke über den Zambeze Fluss in Tete (Mozambique). Es handelt sich um eine Hängebrücke spezieller Art, die vorgespannt ist, und deren Hängekabel zwischen den massiven Ankern durchlaufen, und auch keine Versteifungsträger der herkömmlichen Weise haben. Die beiden Endspannweiten messen je 90 m und die inneren drei je 180 m. Die gesamte Brückenlänge beträgt 762 m bei einer Breite von 11.60 m.

SUMMARY

This paper reports the tests made on a model of a bridge for the Zambeze river at Tete (Mozambique). It is a special type of a suspension bridge with prestressed rigidity câbles and without the rigidity beames of the conventional bridges. The bridge has two lateral spans of 90 metres long and three central spans of 180 metres.

Leere Seite
Blank page
Page vide