

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

**Band:** 5 (1956)

**Artikel:** Effet des déformations dues au fluage dans les ponts à voûte  
préfabriquée

**Autor:** Galli, Adriano / Franciosi, Vincenzo

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-5968>

### **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:** 19.02.2026

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

## **I a 4**

**Effet des déformations dues au fluage dans les ponts  
à voûte préfabriquée**

**Influence of creep deformation on bridges with  
pre-fabricated arch**

**Die Auswirkungen der bleibenden Formänderungen auf Brücken  
mit vorgebautem Gewölbe**

**Efeito das deformações devidas à fluência nas pontes  
com arco prefabricado**

PROF. ING. ADRIANO GALLI

PROF. VINCENZO FRANCIOSI

*Université de Naples*

Naples

### **1) Introduction.**

La construction des arcs en béton armé par rouleaux successifs, mise en pratique depuis longtemps, permet un allègement considérable du cintre, avec lequel collaborent, lors du bétonnage d'un nouveau rouleau, les rouleaux précédents déjà durcis. Une technique analogue est souvent adoptée dans la construction de certaines structures spéciales de pont, comme le type en arc-poutre (Risorgimento) et à voûte mince avec poutre raidissante (Maillart); on construit tout d'abord la voûte d'intrados, ou la voûte mince, et sur celle-ci, une fois le béton durci, on coule le reste de la structure, c'est à dire les tympans et le plancher d'extrados dans les ponts à arc-poutre, ou les piliers et le tablier dans les ponts Maillart. On obtient ainsi outre une économie dans la construction du cintre, d'autres avantages non moins considérables: le poids propre est entièrement supporté par la voûte, le reste de la structure étant ainsi entièrement disponible pour résister aux charges accidentelles; les effets du raccourcissement axial, du retrait et des tassements éventuels aux appuis dûs au poids propre, ne se font sentir que sur la voûte, dans laquelle, du fait de sa faible rigidité à la flexion, ils ne provoquent que des moments fléchissants peu importants. Il convient néanmoins, dans le calcul de ces structures, de ne pas négliger l'effet des déformations dues au fluage sous charge constante. Le fluage exerce une influence favorable dans les arcs construits par couches successives; il tend, en effet, à aplatir le diagramme des tensions qui, dans une section -type, décroît initialement de la première à la dernière couche; c'est à dire, qu'il tend à ramener les

valeurs des efforts à celles que l'on obtiendrait par un calcul orthodoxe. Un phénomène analogue a lieu dans le cas des ponts à voûte préfabriquée, mais alors cette tendance est défavorable car les efforts dus au poids propre, s'exerçant sur la structure réalisée en un seul temps, sont bien plus importants que ceux s'exerçant sur la structure réalisée en deux temps.

Il est donc nécessaire de tenir compte des déformations dues au fluage, car les coefficients de sécurité résultant du simple calcul élastique, quelquefois fort éloigné de la réalité, ne peuvent donner à l'auteur d'un projet qu'une tranquillité bien illusoire.

## 2) *Le fluage dans les ponts en arc avec poutre raidisseuse.*

Soient une voûte et une poutre formées par deux types de conglomerat différents, caractérisés respectivement par des modules d'élasticité  $E$  et  $E'$  et par des constantes de fluage  $\alpha$  et  $\alpha'$  <sup>(1)</sup>.

Soient aussi  $t_0$  l'âge de la voûte et  $t_0'$  celui de la poutre. Soit, au temps  $t > t_0'$ ,  $H_g + \Delta H$  la poussée horizontale aux naissances de la voûte,  $H_g$  étant la valeur de la poussée tirée du funiculaire du poids propre  $g$ , coïncidant avec l'axe de la voûte. Dans l'intervalle de temps  $dt$  qui succède à  $t$ , si les naissances de la voûte étaient liées aux appuis, la corde  $AB$ , sous l'effet du fluage, se retrécirait de  $d\ell$ . Dans le calcul de  $d\ell$  il convient de distinguer l'effet de la voûte de celui de la poutre.

L'effort normal, constant dans chaque section, qui prend naissance dans la voûte, est:

$$N = \frac{H_g + \Delta H}{\cos \gamma}$$

$\gamma$  étant l'angle de la tangente à l'axe de la voûte avec l'horizontale.

Etant donnée la valeur très faible de  $\Delta H$  par rapport à  $H_g$ , on peut écrire:

$$N = \frac{H_g}{\cos \gamma} \quad (2)$$

Dans un premier temps, on sépare la voûte de la poutre, en coupant les piliers et en appliquant sur la surface des sections des forces égales aux efforts normaux supprimés. L'élément  $\Delta s$  de la voûte se raccourcit de:

$$d\Delta s = \frac{H_g \Delta s}{\cos \gamma E A} \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} dt$$

<sup>(1)</sup> On suppose que le processus de fluage du matériau soit réglé par un noyau héréditaire du type Withney

$$\Phi = \alpha \beta e^{-\beta(\tau-t_0)} \quad (1)$$

$\tau$  étant la date à la quelle agit la sollicitation unitaire,  $\alpha$  une constante adimensionnelle,  $\beta$  une constante de dimensions  $t^{-1}$  et  $t_0$  l'âge de la coulée.

la forme que prend alors l'axe de la voûte est celle de la fig. 1,  $\delta'_a l$  est le rapprochement des sections aux naissances,  $\eta'$  étant l'abaissement de la section type.

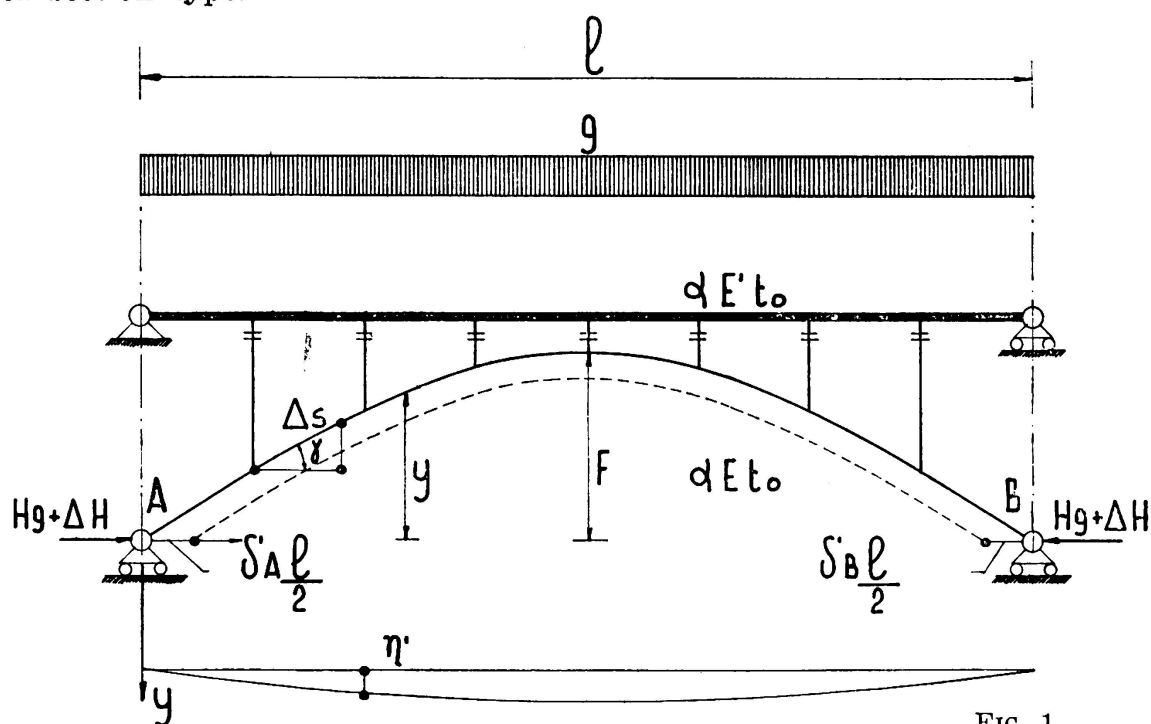


FIG. 1

Il est intéressant de connaître l'aire du diagramme  $\eta'$ ; en appliquant le principe des travaux virtuels aux forces et aux déplacements de la structure, l'on a :

$$H_g \delta'_a l + g A_{\eta} = \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} \int_s \frac{N^2 \Delta s}{E A}$$

d'où.

$$A_{\eta} = \frac{l^2}{8f} \left( \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} \int_s \frac{H_g}{E} \frac{\Delta s}{A \cos^2 \gamma} - \delta'_a l \right) \quad (3)$$

Il faut maintenant rétablir la compatibilité, c'est à dire annuler les déplacements relatifs  $\eta'$  entre voûte et poutre; pour cela, il suffit de donner à la voûte une déformation rigide, en partant de l'hypothèse, commune à la théorie des ponts Maillart, que la voûte ne peut absorber aucun effort de flexion.

Les déplacements verticaux  $\eta'' = -\eta'$  des sections de la voûte (fig. 2), produisent un rapprochement ultérieur  $\delta''_a l$  des naissances.

En appliquant le principe des travaux virtuels au système des déplacements de la fig. 2 et au système des forces qu'on obtient en soumettant la voûte à une charge uniformément répartie on a :

$$\frac{l^2}{8f} \delta''_a l - A_{\eta} = 0$$



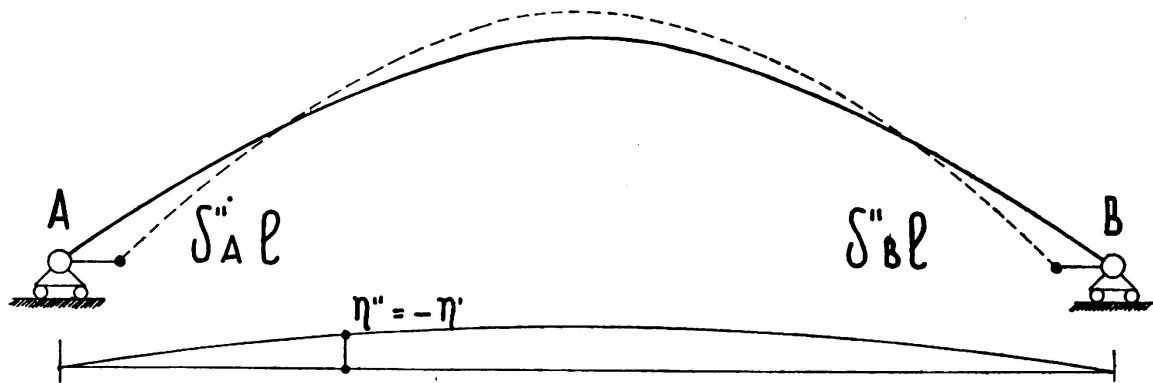


FIG. 2

où

$$\delta_a'' l = \frac{8f}{l^2} A_\eta$$

et par la formule (3)

$$\delta_a'' l = \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} dt \frac{H_g}{E} \int_s \frac{\Delta s}{A \cos^2 \gamma} - \delta_a' l .$$

On a ainsi: (2)

$$\delta_a l = \delta_a' l + \delta_a'' l = \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} dt \frac{H_g}{E} \int_s \frac{\Delta s}{A \cos^2 \gamma} . \quad (4)$$

En admettant  $A$  constant et égal à la moyenne  $A_m$  des valeurs aux naissances et à la clé, on a:

$$\delta_a l = \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} dt \frac{H_g}{E A_m} \int_s \frac{\Delta x}{\cos^3 \gamma}$$

L'intégrale précédente est donnée par:

$$\int_s \frac{\Delta x}{\cos^3 \gamma} = 1 + \frac{8f^2}{l} = L_s$$

où:

$$\delta_a l = \frac{H_g L_s}{E A_m} \alpha \beta e^{-\beta(t-t_0)} dt \quad (5)$$

En considérant maintenant l'effet du fluage de la poutre, les moments auxquels elle est soumise sont:

$$M = -y \Delta H$$

---

(2) En toute rigueur, les raccourcissements des piliers devraient être ajoutés aux  $\eta'$ ; ces raccourcissements sont néanmoins négligeables par rapport  $\eta'$ , en raison de la faible valeur de la sollicitation unitaire.

Si  $H_1$  (fig. 3) est la force horizontale qui, appliquée aux naissances A et B, donnerait lieu à un rapprochement unitaire de celles-ci,  $\Delta H$  provoquerait en régime élastique un rapprochement  $\frac{\Delta H}{H_1}$ ; par le 2ème théorème relatif à la viscosité linéaire, on peut dire que  $\Delta H$  produit,

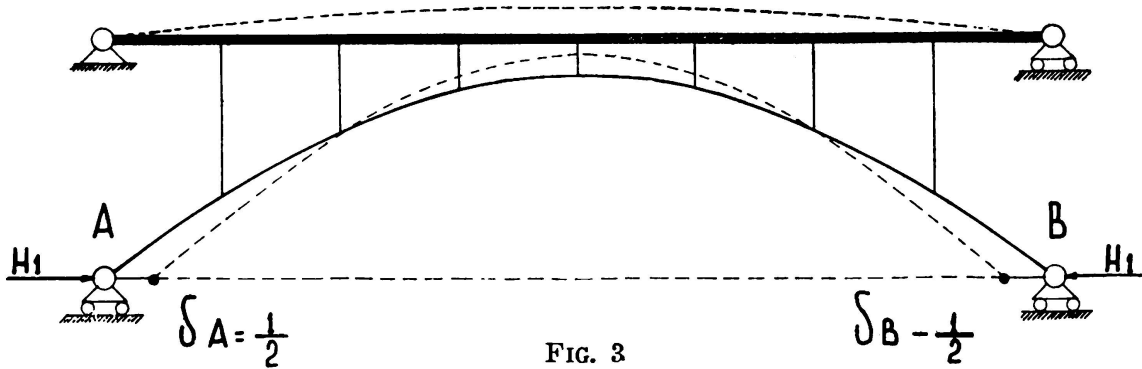


FIG. 3

dans le temps  $dt$ , par l'effet du fluage un rapprochement  $d_l$  des naissances: <sup>(3)</sup>

$$d_t l = \frac{\Delta H}{H_1} \alpha' \beta e^{-\beta(t-t'_0)} dt \quad (6)$$

Si l'axe de la voûte peut être assimilé à une parabole, <sup>(4)</sup> l'expression suivante donne alors  $H_1$

$$H_1 = \frac{15}{8} \frac{E' I_t + E I_a \cos \gamma}{f^2 l} \quad (7)$$

Les deux naissances A et B ne se déplaçant pas, on aura alors pendant le temps  $dt$  une force horizontale  $d \Delta H$  (dirigée vers l'extérieur) qui provoquera un éloignement des deux naissances égal à  $dl = d_a l + d_t l$ .

C'est à dire:

$$d \Delta H = - H_1 d l$$

<sup>(3)</sup> Dans la relation (6), l'âge et le coefficient de fluage de la poutre sont  $t'_0$  et  $\alpha'$ ; en toute rigueur, le  $d_l$  devrait être calculé de la manière suivante: on sépare la poutre de la voûte, en supprimant les piliers de raccordement, on applique à la poutre les moments  $M'$ , et à la voûte les moments  $M''$ , provoqués par  $\Delta H$  en régime élastique et on calcule les rotations relatives  $d\varphi_1$  et  $d\varphi_2$ , provoquées par le fluage dans le temps  $dt$ . Il est nécessaire donc d'appliquer les forces  $r$  à la poutre et  $-r$  à la voûte pour rétablir la compatibilité. La rigidité à la flexion de la poutre étant bien supérieure à celle de la voûte, les forces  $r$  n'affectent presque pas les déplacements de la poutre par rapport à ceux de la voûte. Il peut arriver alors que le déplacement relatif  $d_l$  aux naissances provoqué par les moments agissant pendant le temps  $dt$  soit celui causé par les rotations dues au fluage, dans la poutre; puisque, en régime élastique, le déplacement entre A et B dû au moment  $M'$ , est donné par  $\frac{\Delta H}{H_1}$ , il en résulte alors la relation (6). La relation (6) est valable, en toute rigueur, dans l'hypothèse, déjà adoptée pour le calcul de  $d_l$ , que la voûte ne supporte pas d'efforts de flexion.

<sup>(4)</sup> Cette condition n'est vérifiée qu'avec approximation, l'axe de la voûte étant tracé comme le funiculaire du poids propre qui n'est pas uniformément réparti.

ou encore :

$$d \Delta H = - \left( \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} \alpha \beta e^{-\beta (t-t_0)} + \Delta H \alpha' \beta e^{-\beta (t-t'_0)} \right) dt \quad (8)$$

l'expression (8) peut également s'écrire :

$$d \Delta H = - \left( \frac{\alpha}{\alpha'} \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} e^{-\beta (t'_0-t_0)} + \Delta H \right) \alpha' \beta e^{-\beta (t-t'_0)} dt \quad (9)$$

En séparant les variables et en intégrant on a :

$$\frac{\alpha}{\alpha'} \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} e^{-\beta (t'_0-t_0)} + \Delta H = C e^{\alpha' t} e^{-\beta (t-t'_0)} \quad (10)$$

Pour  $t = t'_0$ ,  $\Delta H$  est égal à la diminution de la poussée due au poids propre dans la voûte, qui pourrait se calculer en régime élastique :

$$\Delta H_{t=t'_0} = - \frac{H_g H_1^* L_s}{E A_m} = \Delta H_0^* \quad (11)$$

$H_1^*$  étant la valeur des deux forces horizontales qui, appliquées aux extrémités A et B de la voûte en l'absence de la poutre raidissante, provoqueraient un déplacement relatif unitaire :

$$H_1^* = \frac{15}{8} \frac{E I_a \cos \gamma}{f^2 l} \quad (12)$$

La condition (11) permet de déterminer C :

$$C = \left( \frac{\alpha}{\alpha'} \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} e^{-\beta (t'_0-t_0)} - \frac{H_g H_1^* L_s}{E A_m} \right) e^{-\alpha' t'_0}$$

L'expression (10) devient donc :

$$\begin{aligned} \frac{\alpha}{\alpha'} \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} e^{-\beta (t'_0-t_0)} + \Delta H = & \left( \frac{\alpha}{\alpha'} \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} e^{-\beta (t'_0-t_0)} - \right. \\ & \left. - \frac{H_g H_1^* L_s}{E A_m} \right) e^{\alpha' t} \left( e^{-\beta (t-t'_0)} - 1 \right) \end{aligned} \quad (13)$$

En considérant  $H_1^*$  négligeable par rapport à  $H_1$ , la relation (13) donne pour  $\Delta H$  :

$$\Delta H = - \frac{H_g H_1 L_s}{E A_m} \frac{\alpha}{\alpha'} e^{-\beta (t'_0-t_0)} \left[ 1 - e^{\alpha' t} \left( e^{-\beta (t-t'_0)} - 1 \right) \right] .$$

Pour  $t = \infty$  on obtient la valeur asymptotique de  $\Delta H$

$$\Delta H_{\infty} = - \frac{H H_1 L_s}{E A_m} \frac{\alpha}{\alpha'} e^{-\beta(t'_0 - t_0)} \left( 1 - e^{-\alpha'} \right). \quad (14)$$

Dans cette expression le facteur  $-\frac{H_g H_1 L_s}{E A_m}$  représente la valeur de la chute de poussée correspondant au raccourcissement axial  $\Delta H_0$ , qui se vérifierait en régime élastique si la voûte et la poutre étaient exécutées en même temps. Le rapport

$$\frac{\Delta H_{\infty}}{\Delta H_0} = e^{-\beta(t'_0 - t_0)} \frac{\alpha}{\alpha'} \left( 1 - e^{-\alpha'} \right) \quad (15)$$

augmente quand  $t'_0 - t_0$  diminue, ou quand augmentent  $\alpha'$  et le rapport  $\frac{\alpha}{\alpha'}$  des coefficients de fluage de la voûte et de la poutre. Cette dernière circonstance démontre que le fluage de la poutre réduit l'effet du raccourcissement de la voûte dû au fluage.

### 3) Quelques cas limites.

L'expression (15) devient indéterminée pour  $\alpha' \rightarrow 0$ ; la règle de l'Hôpital permet d'affirmer que la limite de la relation (15) pour  $\alpha' \rightarrow 0$  est donnée par:

$$\frac{\Delta H_{\infty}}{\Delta H_0} = \alpha e^{-\beta(t'_0 - t_0)} \quad (16)$$

Pour  $\alpha' \rightarrow 0$ ,  $e^{-\beta(t'_0 - t_0)}$  étant approximativement égal à l'unité,  $\Delta H_{\infty}$  a donc une valeur à peu près  $\alpha$  fois plus grande que  $\Delta H_0$ ,  $\alpha$  étant le coefficient de fluage de la voûte. Cette circonstance se vérifierait si la poutre était réalisée avec un matériau pratiquement exempt de viscosité.

Pour  $\alpha' = \alpha$  l'expression (15) devient:

$$\frac{\Delta H_{\infty}}{\Delta H_0} = e^{-\beta(t'_0 - t_0)} \left( 1 - e^{-\alpha} \right) \quad (17)$$

Pour  $\alpha = 3$  et  $t'_0$  suffisamment rapproché de  $t_0$ , l'expression (17) donne:

$$\Delta H_{\infty} \simeq \Delta H_0 \quad (18)$$

Si la poutre et la voûte sont coulées simultanément et sont constituées du même matériau, c'est à dire quand  $\alpha' = \alpha$ ,  $t'_0 = t_0$ , l'expression (10) devient au temps  $t = t_0$ :

$$-\Delta H_0 + \Delta H_0 = C e^{\alpha'} = 0$$

d'où

$$C = 0 \quad ; \quad \Delta H = \Delta H_0. \quad (19)$$

Les relations (19) confirment que le régime de tensions d'une structure à noyau héréditaire constant et soumise uniquement aux charges extérieures, reste invariable par rapport au fluage, à condition que l'on reste dans la domaine des petites déformations.

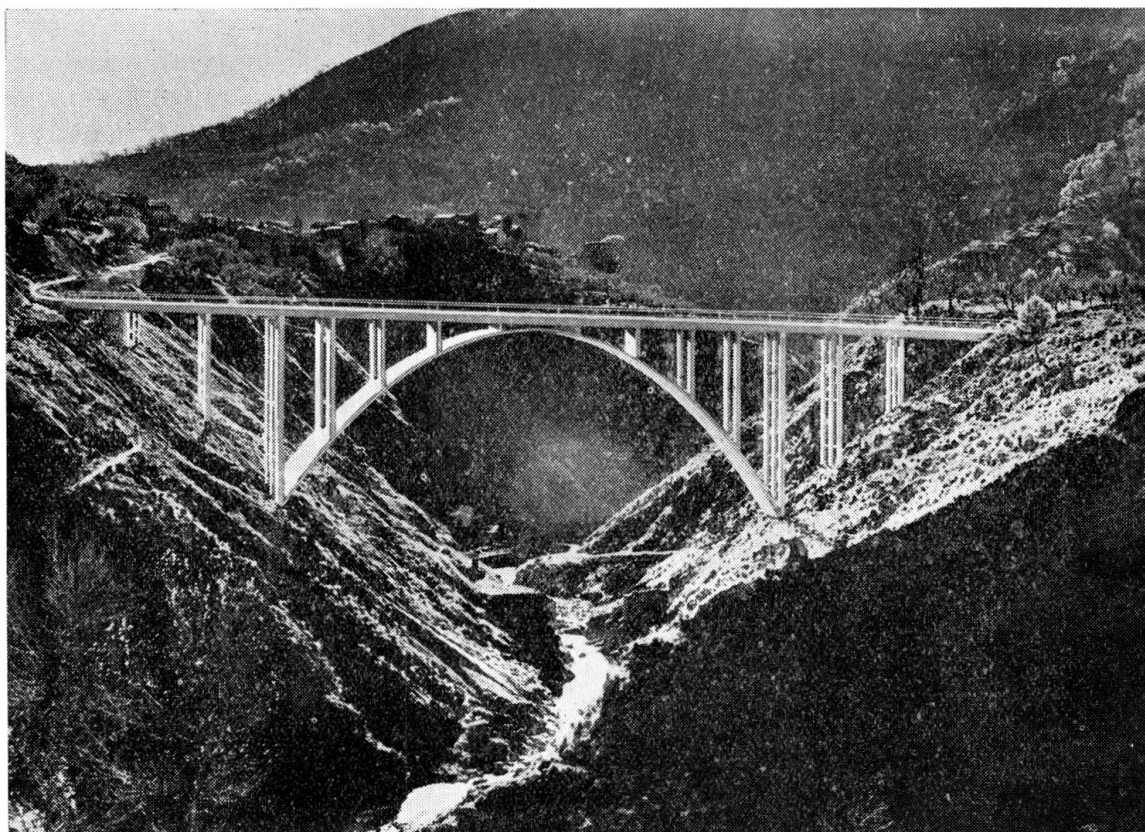


FIG. 4

#### 4) Un exemple concret.

Examinons le cas d'un pont à voûte mince et poutre raidissante projeté par les AA. (fig. 4) et exécuté sur le torrent Corace, dans la province de Catanzaro. Les caractéristiques de la structure sont les suivantes :

$$\begin{array}{llll}
 l = & 80 & \text{m} & E = E' = 3 \cdot 10^6 \text{ t m}^{-2} \\
 f = & 26,10 & \text{m} & A_m = 3,39 \text{ m}^2 \\
 I^t = & 1,55 & \text{m}^4 & H_g = 700 \text{ t} \\
 I_a \cos \gamma = & 0,07 & \text{m}^4 & 
 \end{array}$$

Il en résulte :

$$\begin{array}{ll}
 K_t = 4,65 \cdot 10^6 \text{ t m}^2 & K = 4,86 \cdot 10^6 \text{ t m}^2 \\
 K_a = 0,21 \cdot 10^6 \text{ t m}^2 & L_s = 148 \text{ m} .
 \end{array}$$

Les poussées  $H_1$  et  $H_1^*$  sont données par les expressions (7) et (12)

$$\begin{aligned} H_1 &= 168 \text{ tm}^{-1} \\ H_1^* &= 7,2 \text{ tm}^{-1} \end{aligned} .$$

Les chutes de poussée sont (13) et (11) :

$$\begin{aligned} \Delta H_0 &= -1,730 \text{ t} \\ \Delta H_0^* &= -0,074 \text{ t} \end{aligned} .$$

Pour  $t_0' - t_0 = 2 \text{ mois} = 0,167 \text{ années}$ ,  $\beta = 1^{-1} \text{ années}$  et  $\alpha = 3$ , la relation (17) donne :

$$\Delta H_\infty = \Delta H_0 \cdot 0,8462 \cdot 0,95 = 0,8 \Delta H_0 .$$

C'est à dire que la chute de poussée atteint presque la valeur  $\Delta H_0$  que l'on vérifierait en regime élastique, si la voûte et la poutre étaient exécutées en même temps.

Dans le cas que l'on examine, sa valeur est  $\Delta H_\infty = -1,39 \text{ t}$ . A la clé le moment positif maximum dû aux charges accidentelles est :  $M_{\max} = +300 \text{ tm.}$ , auquel on doit ajouter le moment

$$M_v = 1,39 \cdot 26,1 = +36 \text{ tm.}$$

##### 5) *Le fluage dans les ponts en arc-poutre (Risorgimento).*

L'axe de la voûte d'intrados est le funiculaire de son poids propre total  $g$ ; pour cette raison, jusqu'au durcissement des tympans et du plancher d'extrados, autrement dit, de toute la superstructure, les efforts normaux dans la voûte sont :

$$N = \frac{H_g}{\cos \gamma}$$

Il n'y a aucune autre sollicitation dans tout le reste de la structure.

Soient  $t_0$  et  $t_0'$  les dates de durcissement du conglomerat de la voûte et de la superstructure. Pendant le temps élémentaire qui suit immédiatement  $t_0'$ , il se produit dans la voûte des déformations de fluage  $\varepsilon_v$  incompatibles avec l'ensemble de la structure; il vient pour la section-type :

$$\varepsilon_v = \frac{\sigma}{E} \propto \beta e^{-\beta(t_0' - t_0)} dt = \frac{H_g}{E A \cos \gamma} \propto \beta e^{-\beta(t_0' - t_0)} dt \quad . \quad (20)$$

Pour la compatibilité, il faut que pendant le même temps  $dt$ , prennent naissance entre la voûte et la superstructure, des actions réciproques de caractère élastique; ces actions apparaissent en même temps que les déformations dues au fluage, mais il est plus commode pour le dévelop-

pement du raisonnement de séparer les deux phénomènes, en partant du principe de superposition.

Pour cela on effectue d'abord (fig. 5) un coupe qui détache la voûte de la superstructure; les  $\varepsilon_v$  de la voûte sont ainsi libres de se produire. On introduit ensuite dans la structure des appuis empêchant tout déplacement; les actions réciproques, qui se développent entre la voûte et la superstructure pour rétablir la compatibilité, sont alors proportionnelles au poids propre  $g$ , car elles doivent provoquer dans la voûte des déformations élastiques égales et opposées aux  $\varepsilon_v$  (20) qui, à leur tour sont proportionnelles aux déformations élastiques provoquées par  $g$ .

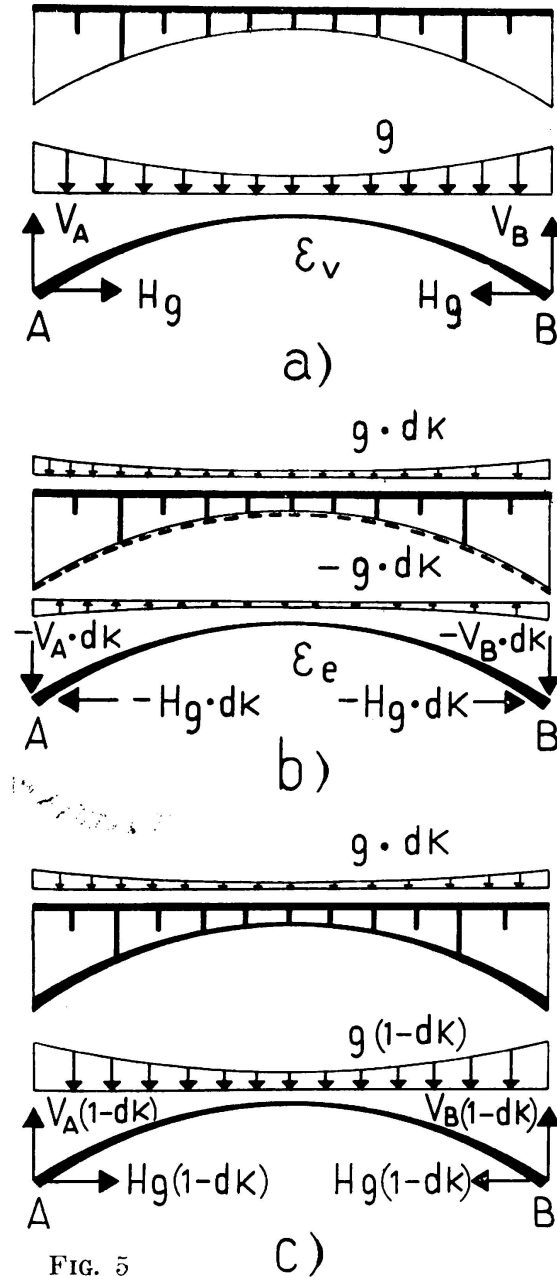


FIG. 5

Des forces  $-gdk$  sur la voûte et  $+gdk$  sur l'appui rigide de la superstructure prennent ainsi naissance. On supprime ensuite les appuis que l'on avait introduit, ce qui équivaut à faire agir les forces  $+gdk$  sur la structure tout entière. Enfin, au temps  $t_0' + dt$ , la voûte (fig. 5c) supporte toute seule la part  $(1-dk)g$  du poids propre  $g$ , tandis que la charge  $gdk$  est supportée par la structure entière.

Dans une deuxième période élémentaire de temps  $dt$ , succédant au temps  $t_0' + dt = t''$  le phénomène ne peut plus se réduire à un simple schéma comme dans le premier cas; en effet, dans la voûte, aux tensions

$$\sigma_n = \frac{H_g (1-dk)}{A \cos \gamma} \quad (21)$$

proportionnelles à celles causées par  $g$  en régime élastique, vont venir s'ajouter les tensions  $\sigma_r$ , produites par les forces  $gdk$  agissant sur la structure entière (fig. 6).

Dans la section-type S, la période de temps  $dt$  qui succède à  $t''$ ,

on a donc les déformations de fluage indiquées dans la fig. 6b, c'est à dire, pour la voûte

$$\varepsilon_v = \left( \frac{H_g (1-dk)}{EA \cos \gamma} + \frac{\sigma_r}{E} \right) \alpha \beta e^{-\beta (t'' - t_0)} dt \quad (22)$$

et pour la superstructure

$$\varepsilon_v = \frac{\sigma_f}{E} \alpha' \beta e^{-\beta(t'' - t'_0)} dt. \quad (22)$$

Les discontinuités entre la voûte et la superstructure sont données par

$$\begin{aligned} d\varepsilon_v &= \frac{H_g(1 - dk)}{EA \cos \gamma} \alpha \beta e^{-\beta(t'' - t_0)} dt + \\ &+ \frac{\sigma_f}{E} \left( \alpha \beta e^{\beta t_0} - \alpha' \beta e^{\beta t'_0} \right) e^{-\beta t''} dt = d\varepsilon_{vn} + d\varepsilon_{vf}. \end{aligned}$$

Tandis que les  $d\varepsilon_{vn}$  sont proportionnelles aux déformations élastiques provoquées par  $g$  sur la voûte, les  $d\varepsilon_{vf}$  ne suivent pas cette règle; les actions intérieures capables de provoquer des déformations élastiques égales et opposées aux  $\varepsilon_v$  (22) ne sont plus proportionnelles à  $g$ .

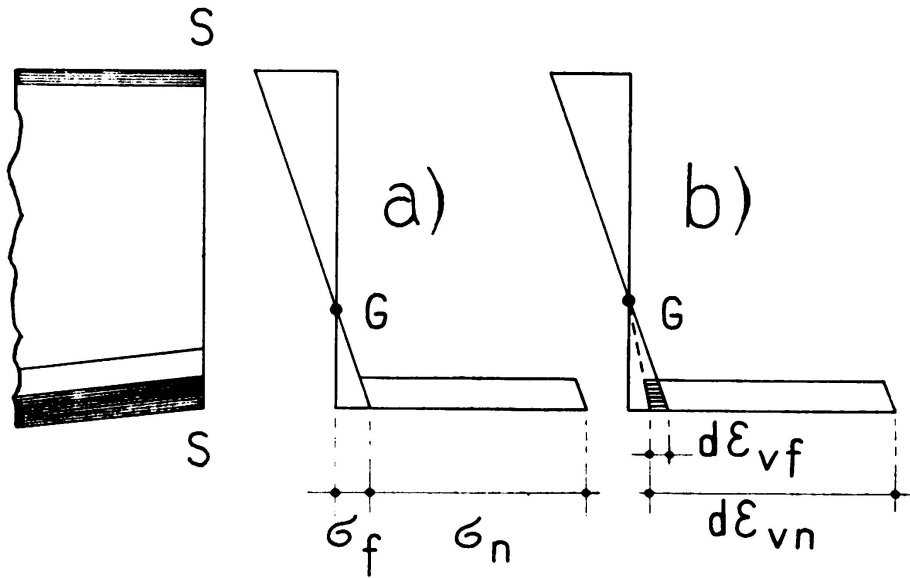


FIG. 6

Pourtant, en général  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont peu différents, et le temps  $t'_0$  est très proche de  $t_0$ ; on peut donc négliger  $d\varepsilon_{vf}$  relativement à  $d\varepsilon_{vn}$ .

Dans cet ordre d'approximation, le raisonnement développé par rapport à la première période de temps est également valable pour la deuxième et pour les suivantes.

Au temps  $t$ , la part de poids propre supportée par la voûte seule est  $(1 - k)g$ , et  $kg$  est celle supportée par la structure entière.

Dans la période de temps  $dt$  qui succède à  $t$ , on a

$$d\varepsilon_v = \frac{H_g(1 - k)}{EA \cos \gamma} \alpha \beta e^{-\beta(t - t_0)} dt;$$



la charge supportée par la voûte diminue donc pendant le temps  $dt$  d'une quantité  $g \cdot dk$  telle que

$$\frac{H_g dk}{E A \cos \gamma} = - \frac{H_g (1 - k)}{E A \cos \gamma} \alpha \beta e^{-\beta (t - t_0)} dt . \quad (23)$$

d'où l'on tire:

$$dk = - (1 - k) \alpha \beta e^{-\beta (t - t_0)} dt$$

$$\frac{dk}{k-1} = \alpha \beta e^{-\beta (t - t_0)} dt ; k = 1 + C e^{\alpha \beta e^{-\beta (t - t_0)}} .$$

Pour  $t = t_0'$ ,  $k = 0$ ; on en déduit

$$k = 1 - e^{\alpha \beta \left[ e^{-\beta (t - t_0)} - e^{-\beta (t_0' - t_0)} \right]} .$$

Pour  $t = \infty$ ,

$$k_{\infty} = 1 - e^{-\alpha \beta e^{-\beta (t_0' - t_0)}}$$

Dans le tableau suivant l'on a calculé les valeurs de  $k_{\infty}$  pour plusieurs valeurs de  $\alpha$  et de la différence  $t_0' - t_0$ ;  $\beta$  est égal à 1 année<sup>-1</sup>

$\alpha \backslash t_0' - t_0$	3	2	1
0,2	0,915	0,804	0,560
0,3	0,892	0,772	0,523
0,4	0,866	0,738	0,488
0,5	0,838	0,702	0,457
0,7	0,775	0,613	0,394
1	0,667	0,518	0,310

On remarque que, sous l'effet des déformations dûes au fluage, une grande partie du poids propre initialement supportée par la voûte d'intrados seule, va se répartir sur la structure entière; pour de grandes valeurs de fluage ( $\alpha = 3$ ) et des petites différences entre les dates de

durcissement de la voûte et des superstructures ( $t_0' - t_0 = 0,2$  années), plus de 90 % du poids  $g$  vient solliciter asymptotiquement (en pratique après 3 à 4 années) la structure entière. On ne peut donc pas compter sur la voûte seule pour supporter de poids propre; il devient donc nécessaire de calculer la structure comme un arc-poutre, non seulement pour les charges accidentelles et les variations thermiques, mais aussi pour une fraction du poids propre, qui peut se déduire du tableau relatif au fluage du béton et aux dates de durcissement des bétonnages.

### R É S U M É

Les auteurs considèrent les ponts du même genre que le pont «Risorgimento» à voûte préfabriquée et les ponts «Maillart» à poutre raidissante, et montrent que le fluage  $\gamma$  modifie l'état de tension initial qui tend alors asymptotiquement vers l'état que l'on aurait dans les ponts construits en une seule opération.

Les auteurs donnent également les valeurs numériques se rapportant à des applications pratiques.

### S U M M A R Y

The authors consider bridges of the same type as the «Risorgimento» bridge with pre-fabricated arch and «Maillart» bridges with stiffening-beam, and show that, in this case, creep modifies the initial stress conditions which, then, tend towards those of continuously-built bridges.

The authors also mention numerical values referring to practical applications.

### ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen an Brücken vom Typ «Risorgimento» mit vorgebautem Gewölbe und vom Typ «Maillart» mit Versteifungsträgern ergab eine Veränderung der ursprünglichen Spannungsverteilung durch die Viskosität. Diese Spannungsverteilung nähert sich asymptotisch derjenigen, welche bei gleichzeitiger Ausschaltung des ganzen Bauwerkes eintreten würde.

Die Arbeit wird durch einige numerische Beispiele ergänzt.

### R E S U M O

Os autores consideram pontes do mesmo tipo que a ponte «Risorgimento», com arco prefabricado e pontes «Maillart» com viga de reforço, e mostram que, nestes casos, a fluência do betão modifica o estado de tensão inicial, aproximando-o então, assintoticamente, do estado de tensão das pontes de construção contínua.

Os autores citam igualmente valores numéricos referentes a aplicações práticas.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide