

Effets du retrait et du fluage dans les ponts en béton précontraint à poutres préfabriquées rendues continues

Autor(en): **Fauchart, Jacques**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **5 (1970)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6929>

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.

Effets du retrait et du fluage dans les ponts en béton précontraint à poutres préfabriquées rendues continues

Wirkung des Kriechens und Schwindens in Spannbetonbrücken bestehend aus durchlaufenden, vorgefertigten Trägern

Effect of Creep and Shrinkage in Prestressed Concrete Bridges Composed of Continuous, Prefabricated Girders

JACQUES FAUCHART

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur au Centre de Hautes Etudes de la Construction
Paris (France)

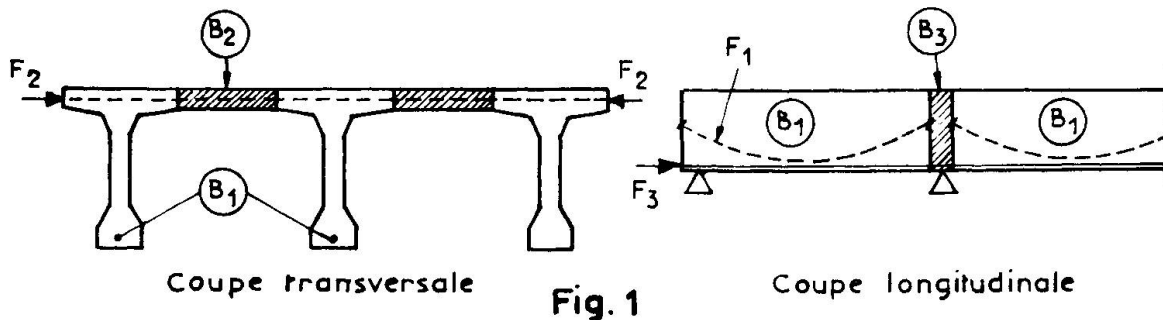
I - DESCRIPTION

I. 1 - Les ouvrages considérés sont réalisés à l'aide de poutres indépendantes préfabriquées au temps 0 (section B_1), précontraintes au temps t_1 (effort P_1), puis mises à leur emplacement définitif.

Au temps t_2 , l'ouvrage est complété par bétonnage, insitu, des bandes intermédiaires du hourdis supérieur (B_2), puis précontrainte transversale.

Au temps t_3 , les différentes travées indépendantes successives sont rendues continues, par bétonnage du béton B_3 et précontrainte longitudinale P_3 .

Le temps t_3 peut être inférieur ou supérieur au temps t_2 .



I. 2 - Les divers bétons B_j ont des âges, des taux et des temps de chargement différents ; s'ils étaient indépendants, il subiraient donc progressivement des déformations différentes par suite de leur retrait et de leur fluage. Mais leurs liaisons mutuelles s'y opposent. L'égalisation des déformations est obtenue par l'adaptation, c'est-à-dire l'apparition progressive d'efforts supplémentaires internes (constituant un système de forces identiquement nul).

I. 3 - La structure initialement isostatique (B_1) devient finalement hyperstatique et d'une double manière : interne ($B_1 - B_2$) et externe ($B_1 - B_2 - B_3$). Il y a donc 3 phénomènes d'adaptation à considérer :

a. 1 - à l'intérieur d'une même section droite : adaptation des contraintes entre B_1 et B_2 (cf § II.2 et 3).

a. 2 - phénomène annexe au précédent : à partir du temps t_3 , les liaisons hyperstatiques imposées par la continuité des travées s'opposent à la libre déformation des poutres que provoque le phénomène précédent (cf § II.4).

b - en élévation, l'ouvrage commence à se déformer (déformation instantanée et début de fluage) librement, suivant le schéma isostatique de travées indépendantes. Mais ce schéma devenant, au temps t_3 , hyperstatique (poutre continue) ne permet pas au fluage de s'achever en affinité des déformations isostatiques précédentes. D'où l'adaptation progressive des efforts, par développement de réactions d'appui hyperstatiques (cf § III).

I. 4 - Les calculs suivants sont basés sur l'hypothèse, très simplifiée, du fluage linéaire.

I. 5 - Rappelons que les charges appliquées après réalisation du schéma statique définitif (soit, suivant le cas, après t_2 ou t_3) ne développent aucun phénomène d'adaptation. Elles ne sont donc pas considérées ici.

I. 6 - Notations

Modules de déformation du béton : instantanée : E_i ; totale : $E_d = \frac{E_i}{1+\varphi}$ où φ est le coefficient de fluage (rapport entre les déformations différée finale et instantanée sous compression constante).

II - REDISTRIBUTION DES CONTRAINTES NORMALES AGISSANT SUR UNE SECTION DROITE (adaptation entre les bétons B_1 et B_2)

II. 1 - Généralités :

La section B_1 des poutres préfabriquées reçoit l'indice 1 ; celle du hourdis complémentaire (B_2), l'indice 2. La section totale est dépourvue d'indice.

Pour chaque partie, j , B_j , désigne l'aire de la section, G_j son centre de gravité, I_j son moment d'inertie :

$$B = B_1 + B_2; a = G_1 G_2; b_1 = G_1 G = a \frac{B_2}{B}; I = I_1 + I_2 + a^2 \frac{B_1 B_2}{B}$$

Les ordonnées Y sont mesurées à partir de G .

II. 2 - Effet isostatique du retrait

Au temps t_2 , B₁ a déjà achevé la partie $K \cdot \epsilon_r$ de son retrait ($0 < K < 1$), alors que B₂ a encore à en effectuer l'intégralité (ϵ_r).

B₂ voudrait donc se raccourcir davantage que B₁. Il entraîne ce dernier, qu'il comprime au taux $\Delta\sigma_1$. Mais, à l'inverse, B₁ freine B₂ qui, ne pouvant se raccourcir autant qu'il l'aurait voulu, reste tendu au taux $\Delta\sigma_2$.

En supposant que les bétons se comportent de façon élastique, et que les sections droites restent planes, les diagrammes des $\Delta\sigma_i$ sont rectilignes et parallèles : mais il sont séparés d'une quantité correspondant à la différence de variation de longueur : $K \epsilon_r$, qui s'est produite librement entre les 2 bétons, soit, au bout d'un temps infini :

$$\Delta\sigma_1(\infty) - \Delta\sigma_2(\infty) = K \epsilon_r E_d = \sigma_r$$

D'où les valeurs finales des contraintes dues au retrait

$$\Delta\sigma_1(\infty) = \sigma_r \left(1 + \frac{a B_1 Y}{I} \right) \frac{B_2}{B}$$

$$\Delta\sigma_2(\infty) = - \sigma_r \left(1 - \frac{a B_1 Y}{I} \right) \frac{B_1}{B}$$

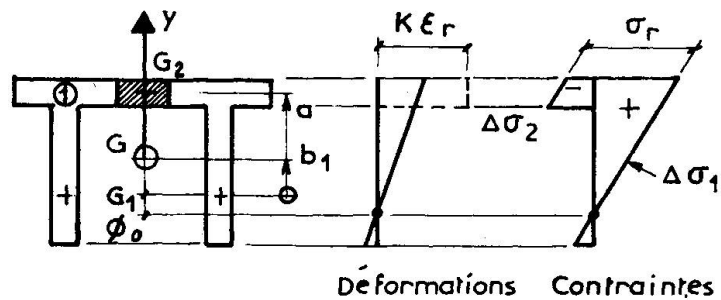


Fig. 2

II. 3 - Effet isostatique du fluage

Au temps t_2 , B₁ est soumis en permanence à l'effort normal N et au moment fléchissant M, développés par le poids propre du béton et par la précontrainte (P₁). B₁ est soumis à la contrainte $\sigma_1(t_2)$; il a effectué la K^e partie de son fluage ($0 < K < 1$). Son raccourcissement relatif vaut donc :

$$\epsilon_1(t_2) = \frac{\sigma_1(t_2)}{E_i} (1 + K \varphi)$$

Le béton B₂, qui vient d'être coulé n'est encore soumis à aucun effort : $\sigma_2(t_2) = 0$; $\epsilon_2(t_2) = 0$.

Par la suite, B₁ se raccourcit en achevant son fluage : il entraîne B₂ qui est comprimé au taux $\sigma_2(t)$. Mais B₂ freine le raccourcissement de B₁ dont la compression $\sigma_1(t)$ décroît progressivement. Les compressions émigrent donc progressivement de B₁ vers B₂ : leurs valeurs tendent à s'uniformiser. Le béton peu sollicité B₂ soulage peu à peu le béton plus comprimé B₁.

Dans l'hypothèse du fluage linéaire, au bout d'un temps infini :

$$\epsilon_j(\infty) = \frac{1 + \varphi}{E_i} \sigma_j(\infty) \quad \text{Posons : } \lambda = \frac{\varphi(1-K)}{1+\varphi} \quad ; \quad \text{d'où :}$$

$$\sigma_1(\infty) = (1-\lambda) \sigma_1(t_2) + \lambda \left(\frac{N}{B} + \frac{M - N b_1}{I} Y \right) \quad ; \quad \sigma_2(\infty) = \lambda \left(\frac{N}{B} + \frac{M - N b_1}{I} Y \right)$$

Où la valeur à considérer pour P_1 est la valeur stabilisée, définitive = $P_1(\infty)$

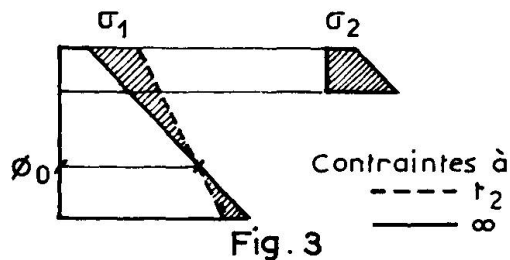


Fig. 3

Remarques :

a - $(M-Nb_1)$ est le moment fléchissant constant agissant sur la section totale B.

b - Exemple : $K = 0$; $\phi = 2$. Les contraintes finales $\sigma_3(\infty)$ sont alors égales à la somme du tiers des contraintes élastiques initiales et des deux tiers des contraintes qui agiraient sur la section totale B, si celle-ci avait été réalisée, d'emblée, sous sa forme définitive.

c - Les contraintes dues au retrait (§ II. 2) et au fluage (§ II. 3) différentiels entre B_1 et B_2 ont des signes opposés. Elles se compensent donc en partie.

d - En général, I_2 est négligeable devant I. Alors σ_1 reste constant, dans le temps, quels que soient le retrait et le fluage des 2 bétons, sur la fibre ϕ_0 d'ordonnée : $\gamma_0 = -\frac{I}{aB_1}$.

II. 4 - Effets hyperstatiques complémentaires

a - La redistribution de contraintes, entre B_1 et B_2 , qui vient d'être étudiée, serait le seul phénomène qui se produirait si la structure restait extérieurement isostatique (telle qu'une travée indépendante).

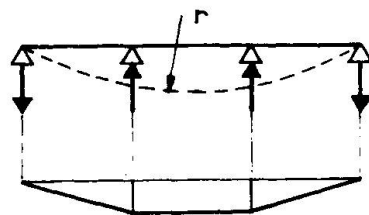
Mais ainsi sollicitées, les poutres se déforment.

Comme à partir du temps t_3 , elles deviennent hyperstatiques, elles ne peuvent plus le faire librement : alors se développent des réactions d'appui hyperstatiques chargées de maintenir les liaisons imposées, et dont l'effet s'ajoute aux "actions isostatiques" précédentes.

b - Ainsi, le retrait différentiel entre B_1 et B_2 (§ II.2) donnerait à une travée indépendante de section constante la courbure constante :

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{E} \frac{\Delta\sigma_1}{(\gamma - \gamma_0)} = \frac{\sigma_r}{E} \frac{aB_1B_2}{BI} = \frac{K\epsilon_r}{a} \left(1 - \frac{I_1 + I_2}{I}\right)$$

Dans le cas réel de la poutre continue, les appuis développent des réactions (formant au total un système nul) chargées d'annuler les flèches à leur droit. Ces réactions engendrent des moments négatifs le long de la poutre.



Moments Fig. 4

c - De même, le fluage différentiel entre B₁ et B₂ (§ II.3) donnerait, en chaque section, la courbure : $(1-\lambda) \frac{1}{r_1} + \lambda \frac{1}{r_2}$, où : $\frac{1}{r_1} = \frac{M}{EI_1}$ désigne la courbure de la poutre préfabriquée, si elle était restée isolée, et $\frac{1}{r_2} = \frac{M-Nb_1}{EI}$, celle de la section totale (B₁ + B₂) si elle avait été réalisée d'emblée dans sa totalité.

III - ADAPTATION DES EFFORTS DANS LA STRUCTURE DEVENUE CONTINUE
(adaptation entre les bétons B₁₂ et B₃)

III. 1 - Généralités

Si les diverses travées successives étaient restées indépendantes, leurs sections extrêmes en regard, de part et d'autre de l'appui A_j, auraient progressivement subi des rotations relatives : $\Delta\omega_j(t)$

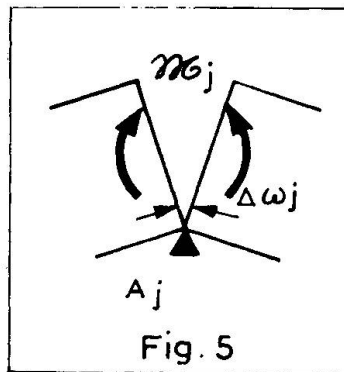


Fig. 5

La continuité des travées s'y oppose à partir du temps t₃. En A_j se développe donc progressivement un "moment de fluage" $\mathcal{M}_j(t)$ chargé d'annuler la rotation : $[\Delta\omega_j(t) - \Delta\omega_j(t_3)]$

Si la structure avait été réalisée d'emblée (au temps t₁) sous sa forme continue définitive, elle aurait été soumise, sous l'action des charges q réellement appliquées avant t₃ (poids propre et précontrainte P₁) aux moments M_j^* dans les sections A_j.

En supposant le fluage linéaire, la valeur définitive du moment de fluage vaut : (1)

$$\mathcal{M}_j(\infty) = M_j^* \cdot \Psi(t_3 - t_1)$$

Les moments de fluage sont développés par des réactions concentrées des appuis A_j. Leurs valeurs varient donc linéairement entre les appuis successifs, à partir de zéro sur les appuis extrêmes.

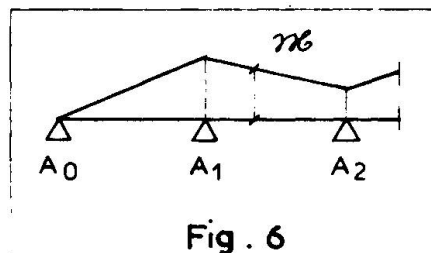


Fig. 6

III. 2 - Mode pratique de calcul :

Les valeurs définitives (à t_∞) des moments de fluage \mathcal{M}_j , dans les sections de continuité j, sont donc égales à celles des moments que développeraient, dans les mêmes sections de la poutre continue définitive les charges fictives : $q^* = q \cdot \Psi(t_3 - t_1)$, où q désigne les charges réellement appliquées avant le temps t₃.

(1) cf. = COURBON : Annales de l'I.T.B.T.P. Février 1968.

(Poids propre des poutres et charges de précontrainte, soit : efforts concentrés sous ancrages, et "poussée au vide" centripète, répartie avec la densité $\frac{P_1}{r}$, où r désigne le rayon de courbure du câble).

Les calculs littéraux sont généralement basés pour des raisons de facilité mathématique, sur la loi de fluage : $\epsilon_f = \epsilon_i \varphi (1 - e^{-\delta t})$.

$$\text{Alors, } \psi(t_3 - t_1) = \frac{\varphi}{1 + \varphi} e^{-\delta(t_3 - t_1)}$$

Mais l'expression analytique de la loi de fluage reproduisant au mieux les résultats expérimentaux (FIP-CEB) est de la forme :

$$\epsilon_f = \epsilon_i \varphi (1 - e^{-\beta \sqrt{t}})$$

D'où notre suggestion de prendre en compte dans les calculs :

$$\psi(t_3 - t_1) = \frac{\varphi}{1 + \varphi} e^{-\beta \sqrt{t_3 - t_1}}$$

III. 3 - Remarque sur la valeur de la précontrainte P_1

La valeur de la précontrainte P_1 à introduire dans les calculs est celle qui agit au temps t_3 où l'on réalise la continuité.

Ensuite, la tension des câbles diminue de ΔP_1 . Mais cette perte de précontrainte s'effectue sur la structure rendue continue ; elle développe donc des effets, hyperstatiques.

L'effet de la perte ΔP_1 est en affinité non pas de l'effet initial réel (isostatique) de P_1 , mais de celui que provoquerait l'application directe de P_1 à la structure hyperstatique définitive.

IV. - EXEMPLES

IV. 1 - Réalisations françaises (I968)

a - Poutre porteuse de l'aérotrain (18 Km de long, par éléments continus de 6 travées de 20 m de long).

b - Viaduc de pénétration de l'Autoroute de Nord dans la ville de MARSEILLE (20 travées d'environ 29 m de portés, larges de 27 m, à 4 poutres caissons).

IV. 2 - Projet des viaducs d'accès au pont de Calix à CAEN

Ils comprendront des suites de 6 travées de 36 m de portée, à 6 poutres préfabriquées, en forme de double-té, chacune.

Les poutres, précontraintes à une semaine, sont rendues continues à 9 semaines. Le béton B_1 a alors effectué 30 % de son retrait et 25 % de son fluage. Alors sont coulés les hourdis intermédiaires.

Caractéristiques des sections :

$B_1 = 4,64 \text{ m}^2$ - $B_2 = 1,67 \text{ m}^2$ - $B = 6,32 \text{ m}^2$ - $I_1 = 3,17 \text{ m}^4$ - $I_2 = 0,005 \text{ m}^4$
 $I = 4,19 \text{ m}^4$ - $a = 0,904 \text{ m}$ - $\epsilon_r = 3.10^{-4}$ - $\varphi = 2$ - $\beta = 0,25$
 (le temps étant exprimé en mois).

Le tableau suivant donne, à titre d'exemple, les valeurs (en kg/cm²) des contraintes dues aux divers phénomènes d'adaptation dans la section médiane de la 2ème travée. Les compressions sont comptées positives.

Cas (cf.I.3)		a.1		a.2		b	
Contraintes sur la fibre		retrait isostatique	fluage	défo corrélative retrait	fluage	adaptation par fluage	Total
supérieure	B ₁	4,6	- 5,3	- 1,6	1,8	- 1,7	- 2,2
	B ₂	-5,3	4,9				- 1,9
inférieure (B ₁)		-1,5	1,7	3,3	-3,7	3,5	3,3

On remarque que les effets du fluage et du retrait s'équilibrent à peu près, et que les tractions totales sont très faibles : elles seront en pratique aisément contre-balancées, en travée, par les compressions développées par la mise en place des surcharges permanentes (superstructures).

RESUME

On étudie les effets du retrait et du fluage du béton dans les ponts à poutres multiples préfabriquées, puis rendues continues.

Les phénomènes d'adaptation qui se produisent sont dûs à la double hyperstaticité: interne d'une part, externe d'autre part, de ces structures.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wird die Wirkung des Kriechens und Schwindens des Betons in Brücken aus mehreren vorfabrizierten, durchlaufenden Balken. Die auftretenden Phänomene ergeben sich aus der doppelt statischen Unbestimmtheit: innerlich und äusserlich.

SUMMARY

An investigation is made of the effects on concrete creep and shrinkage in bridges consisting of a number of prefabricated, continuous girders. The phenomena come into play as a result of both the internal and the external statical indeterminacy of the system.

Leere Seite
Blank page
Page vide