Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 2 (1933-1934)

Artikel: Constructions en arc: pont en arc: détermination des charactéristiques optima; arcs continus: hangar triple à voûtes continues sans entrait

Autor: Vallette, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-3414

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: 22.07.2025

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

CONSTRUCTIONS EN ARC.

PONT EN ARC: DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES OPTIMA.

ARCS CONTINUS: HANGAR TRIPLE À VOÛTES CONTINUES SANS ENTRAIT.

BOGENTRAGWERKE.

BOGENBRÜCKEN: BESTIMMUNG DER OPTIMALEN CHARAKTERISTIKEN.
DURCHLAUFENDE BOGEN: DREISCHIFFIGE HALLEN MIT DURCHLAUFENDEN GEWÖLBEN OHNE ZUGBAND.

ARCHED STRUCTURES.

ARCHED BRIDGES: DETERMINATION OF OPTIMA CHARACTERISTICS.
CONTINUOUS ARCHES: THREE-BAY SHED WITH CONTINUOUS VAULS WITHOUT TIE ROD.

R. VALLETTE, Ingénieur aux Chemins de fer de l'Etat, Paris.

A. Pont en arc.

Recherche des caractéristiques optima (Portée, surbaissement, profil, taux de résistance). — Pour le franchissement d'un espace le problème qui se pose au constructeur est d'abord le choix du type d'ouvrage et des portées à adopter. Si aucune condition de portée n'est imposée, soit par la nature des lieux, soit par le maître de l'oeuvre, il est évident que le type à poutre droite à travées multiples de petite portée est le plus avantageux, mais si l'on est conduit à de grandes portées il est rare que la solution ne soit pas donnée par le pont en arc.

On est alors ramené à la recherche de la nature d'arc satisfaisant le plus économiquement aux conditions techniques et esthétiques posées.

La dépense étant surtout conditionnée par la quantité de matériaux employée, dont le poids réagit directement sur l'importance des cintres et des échafaudages il faut réduire cette quantité le plus possible, c'est-à-dire, obtenir pour l'arc la section moyenne minimum.

Or, les sections de l'arc varient dans de très grandes proportions avec ses caractéristiques: portée, surbaissement, type (articulé ou encastré, profil mince ou profil épais.....), tracé et résistance du matériau.

En accroissant les portées, c'est-à-dire en diminuant le nombre de travée, on réduit les fondations en rivière, d'autre part un grand surbaissement est souvent d'un meilleur aspect et peut permettre d'établir l'arc sous le tablier, ce qui supprime les entretoises (nécessaires avec les arcs latéraux par dessus); par contre, la section de l'arc augmente considérablement avec la portée et avec le surbaissement et cette augmentation est d'autant plus forte que l'arc est d'un type plus rigide et plus épais et que le matériau qui le constitue est moins résistant.

Il convient donc de déterminer les lois de variation de la section moyenne de l'arc avec ces différents facteurs. Ce problème est susceptible d'une solution rigoureuse pour chaque type d'arc et aboutit à des relations simples permettant le choix des caractéristiques à adopter dans chaque cas.

En faisant cette détermination pour différents types d'arc on peut d'autre part comparer ces types et déterminer le type le plus avantageux dans un cas donné.

Pour établir les relations liant les sections aux caractéristiques de l'arc, il faut d'abord déterminer les relations rigoureuses existant entre les efforts et ces caractéristiques (lois de similitude généralisée). Voici ces relations.

Relations entre les efforts et les dimensions dans les arcs de même type. — Un type d'arc est défini par la nature de son tracé et par la courbe des moments d'inertie de ses sections, les arcs de même type dérivant par projection d'un même tracé et ayant même loi de variation du moment d'inertie.

Les relations cherchées s'établissent facilement en écrivant pour deux arcs de même type et de caractéristiques différentes et pour une même disposition des surcharges les relations bien connues liant d'une part les efforts aux réactions d'appui et d'autre part ces réactions d'appui aux charges et aux constantes de l'arc.

Pour ne pas allonger cet exposé, nous ne donnerons que les résultats de cette détermination.

La comparaison des relations établies pour les deux arcs permet de dégager les relations cherchées entre les efforts et les dimensions de l'arc (portée l et flèche f de l'arc, moment d'inertie I et aire Ω des sections).

On obtient pour les efforts existants en des points x, x' homologues $\left(\frac{x}{l} = \frac{x'}{l'} = \alpha\right)$ des deux arcs de même type, pour une même disposition de la surcharge p (p par mètre courant) les relations suivantes (les termes accentuées se rapportant à l'arc connu):

1° Moments: M_1 Moment principal, M_N moment secondaire (dû à l'action de l'effort normal N), M_t Moment dû à la température t:

$$\frac{M}{l^2 p} = \frac{M'}{l'^2 p'} = C_1, \quad M_N \frac{f^2 \Omega}{l^2 I p} = C_2, \quad M_t \frac{f}{I} = C_3$$

2° Composantes horizontales de la résultante d'action en x (ce sont les poussées Hp_1, Hp_2, H_M, H_t, dues au poids propre de l'arc, au poids du tablier et accessoires, à la surcharge et à la température):

$$H_{p_1} I \cdot \frac{f}{l^2 \Omega} = C_4, \quad H_{p_2} \cdot \frac{f}{l^2 p} = C_5, \quad H_M \cdot \frac{f}{l^2 p} = C_6, \quad H_t \frac{f^2}{I} = C_7$$

3° Composantes verticales V:

$$\frac{V}{lp} = C_8 = \frac{V'}{l'p'}$$

Comme on le voit, les coefficients C_1, C_2, etc... représentent les efforts de l'arc connu, ils sont caractéristiques du type d'arc et peuvent être déterminés pour chaque section dans un cas de charge donné quand on connaît les efforts correspondants de cet arc.

Les efforts dans les deux arcs considérés sont proportionnels, comme le montrent les formules ci-dessus, les efforts maxima se correspondent donc dans les deux arcs et l'on peut déduire par simple proportion les courbes enveloppes de l'arc cherché des courbes correspondantes de l'arc connu, les coefficients se déduisent des relations ci-dessus. On obtient par exemple:

$$M = \frac{l^2 p}{l'^2 p'} M', \quad M_t = \frac{I}{f} \cdot \frac{f'}{I'} M'_t, \quad H_M = \frac{l^2 p}{f} \cdot \frac{f'}{l'^2 p'} H'_M \cdots$$

On peut de même appliquer ces relations pour une section donnée aux lignes d'influence des efforts pour cette section; on peut le faire en particulier pour les retombées et déduire ainsi les lignes d'influence des réactions d'appui et l'épure des réactions (courbe et ligne d'intersection) des lignes correspondantes de l'arc connu (en faisant $P = l\,p$) qui servent d'abaques.

On peut encore déduire les déformations (donc les flèches) de l'arc cherché de celles de l'arc connu par les relations suivantes:

$$D_M = \frac{l^4}{I} \cdot \frac{I'}{l'^4} \frac{p}{p'} D'_M, \quad D_N = \frac{l^4}{f\Omega} \cdot \frac{f'\Omega'}{l'^4} \frac{p'}{p} D'_N, \quad D_t = \frac{l^2}{f} \cdot \frac{f'}{l'^2} D'_t$$

qui donnent les déformations pour chaque nature d'action, M moments principaux, N effort normal, t température.

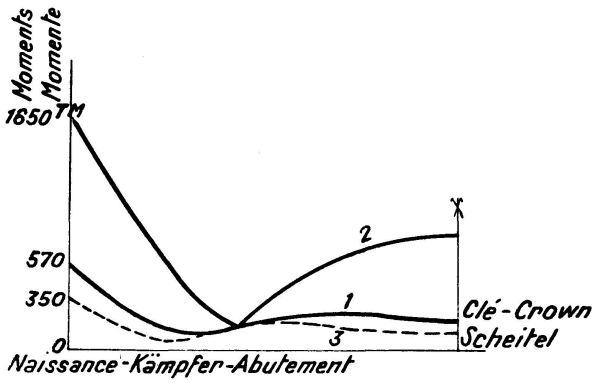

Fig. 1.

On remarquera notamment sur les relations ci-dessus que les moments principaux M sont proportionnels au carré des portées et indépendants des flèches, que les moments dûs à la température sont inversement proportionnels aux flèches, proportionnels au moment d'inertie et indépendants de la portée, ils sont très importants et prépondérants dans les arcs encastrés, surbaissés et épais, comme le montre la figure I.

Relations entre les sections et les caractéristiques (dimension, résistance du matériau) dans les arcs de même type.

Nous venons d'indiquer les relations existant pour un arc déterminé entre les efforts produits dans une section donnée par une charge donnée, et les dimensions de cet arc. Comme d'autre part les formules de la Résistance des matériaux établissent une relation entre les efforts, les dimensions des sections et le taux de travail du matériau, on conçoit qu'on puisse déduire de l'ensemble de ces relations une expression liant les dimensions de la section de l'arc aux charges, aux dimensions de l'arc et au taux de travail du matériau.

Nous avons en effet obtenu cette expression en introduisant les relations de similitude ci-dessus dans la formule connue du taux de travail R.

$$R = \frac{\Sigma N}{\Omega} + \frac{\Sigma MV}{I}$$

On aboutit à l'expression suivante en posant: h: hauteur de la section, r: rayon de giration $= ah$,

$$\lambda = \frac{ds}{dx}, \quad \lambda' = \frac{dy}{ds}, \quad e = \frac{l}{f}, \quad \Omega \text{ : aire de la section.}$$

$$\Omega = p\,l \frac{C_5 e\lambda + C_6 \frac{e}{\lambda} + C_8 \frac{I}{\lambda'} + \frac{C_1 l}{2a^2 h} + \frac{C_2 h e^2}{2l}}{R - C_4 \lambda l e + C_7 \frac{a^2}{\lambda}\left(\frac{h}{l}\right)^2 e^2 - C_3 \frac{h}{2}\frac{e}{l}}$$

$$I = \Omega a^2 h^2$$

elle ne comprend que des coefficients numériques simples. On supposera ici que le tracé suit un funiculaire des charges permanentes et que les contractions permanentes sont compensées.

On dispose des paramètres $\frac{h}{l}$ et a^2 qui dépendent de la composition adoptée pour les sections (section pleine, section à membrures minces, etc....). Pour les sections à membrures on peut les prendre constants pour un type donné, ce qui simplifie l'expression, ou on peut au contraire fixer leur valeur pour avoir la plus petite valeur de R possible. Il faut à cet effet prendre a^2 le plus grand possible (section large et membrures minces) et ensuite adopter un rapport $\frac{h}{l}$ petit pour les grands arcs surbaissés et grand pour les arcs petits et peu surbaissés.

Comme nous l'avons noté les coefficients C sont caractéristiques du type d'arc, il suffit de les chiffrer pour un type donné pour pouvoir obtenir les sections d'un arc en fonction de ses dimensions et de la résistance du matériau, ces éléments étant choisis à volonté.

Si on adopte pour le type d'arc choisi une loi fixe pour la variation des aires Ω des sections (loi qui n'est pas imposée, celle des I étant seule obligée) il suffit de déterminer une seule section prise comme base pour fixer complètement l'arc; le calcul d'un arc est ainsi simplifié à l'extrême et dispense de l'emploi d'abaques.

On peut d'ailleurs, pour caractériser un type d'arc au point de vue de la quantité de matériaux employés, prendre comme section de base la section moyenne Ωm de l'arc, c'est-à-dire la moyenne des aires des sections de l'arc; elle peut s'exprimer par exemple en fonction de la section de naissance: ($\Omega\, m = k\, \Omega_0$) pour laquelle on déterminera la relation.

Cette expression de Ω m permet alors de voir comment varie la masse de l'arc avec la portée, le surbaissement, le taux de travail. Les variations sont considérables, elles sont mises en évidence en traçant dans un cas déterminé les courbes de variation de la section moyenne en fonction de ces divers facteurs. Nous allons donner ces courbes.

Variation de la section moyenne d'un arc avec ses caractéristiques. — Nous donnerons à titre d'exemple les courbes relatives à l'arc parabolique à section réduite constante en béton armé. Sa section moyenne est donné par la formule suivante, avec $t = 27°$ et une surcharge mobile de 2 tonnes par mètre courant (R en Kg p. cm²):

$$\Omega_m = 2^T \cdot \frac{3 + e^2}{8 + e^2} \cdot l \cdot \frac{0{,}29\,\lambda e + 2 + 0{,}004\,e^2}{10R - 0{,}23\,\lambda\, l\, e + 0{,}6\,e^2 - 47\,\frac{e}{\lambda}}$$

Les courbes obtenues sont des hyperboles ou des courbes hyperboliques, à asymptotes parallèles à l'axe des Ωm; on obtiendra donc des conditions limites pour chacun des facteurs variables.

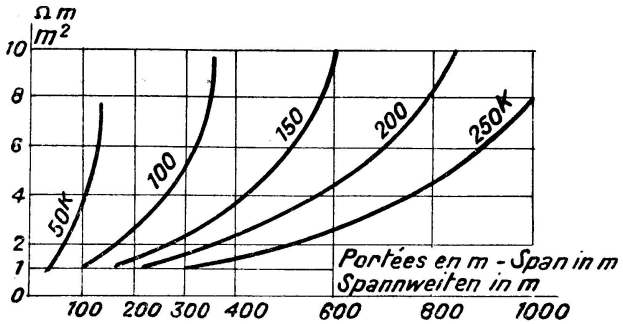

Fig. 2.

Les courbes figure 2, tracées en fonction de la portée, sont établies pour un même surbaissement

$\frac{1}{5}$ et des bétons de résistances variables. Dans ces conditions la résistance conditionne la portée, la limite théorique de portée est donnée par:

$$l^m = \frac{20R}{3} - 110^m, \; R \text{ en Kg p. cm}^2.$$

On remarque sur les courbes les résultats suivants: Une résistance de 50 Kg. ne permet pas pratiquement de dépasser 100 m de portée, pour cette portée la section moyenne nécessaire est de 4 m² elle est 4 fois plus forte qu'avec un taux de 100 Kg et dépasse celle d'un arc de 250 m de portée travaillant à ce taux ou celle d'un arc de 400 m travaillant à 150 Kg.

Pour exécuter un arc de 1000 m. de portée il faudrait employer un béton résistant à 250 Kg. environ pour rester dans une zone convenable de l'hyperbole.

Les courbes figure 3 montrent l'influence du surbaissement, pour une même portée,

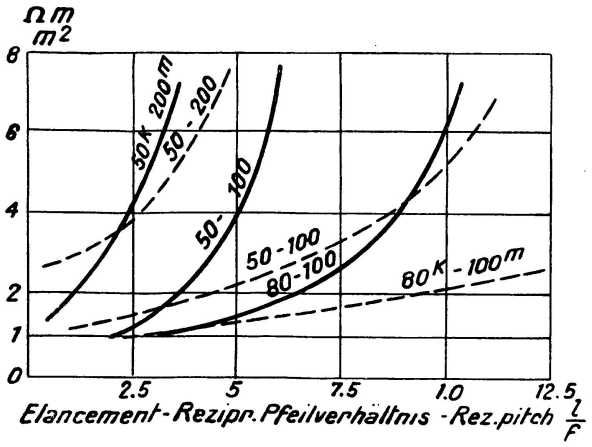

Fig. 3.

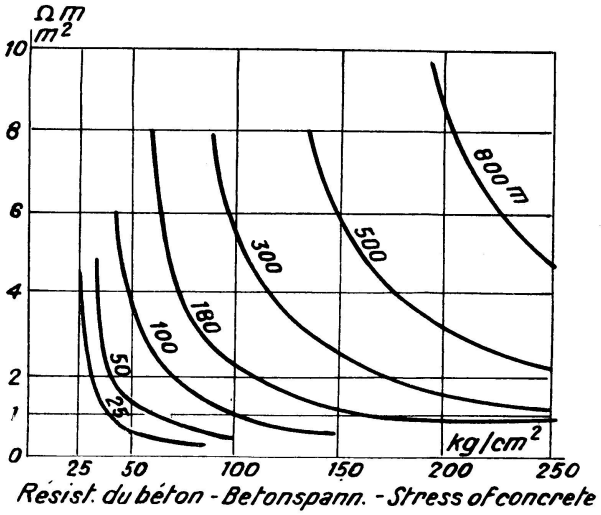

Fig. 4.

et le même béton la section croît considérablement quand le surbaissement s'accentue. On remarque sur les courbes que pour une résistance de 80 Kg. un arc de 100 m demande des sections 4 fois plus grandes avec un surbaissement de $^1/_{10}$ qu'avec un surbaissement de $^1/_5$; un surbaissement de $^1/_{2,5}$ permet d'etablir avec un béton résistant à 50 Kgs. un arc de 200 m. avec les mêmes sections que pour un arc de 100 m surbaissé au $^1/_5$ et travaillant au même taux.

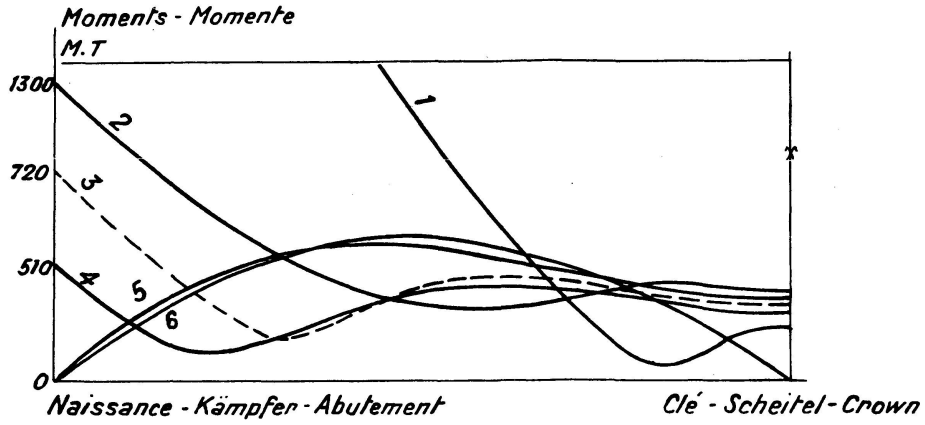

Fig. 5.

Les courbes de la figure 4 montrent l'influence de la résistance du béton (taux de travail).

On remarque sur ces courbes qu'il faut choisir judicieusement le taux de travail du béton suivant les dimensions de l'arc; si le taux est pris trop faible, dans la zone montante des courbes, on est conduit à une majoration considérable de la section (pour un arc de 180 m une chute de résistance de 10 k, de 70 à 60 k, oblige à doubler les sections); si le taux est pris trop élevé ce taux est instable la moindre chute de section modifiant ce taux (pour le même arc de 180 m une variation de section de 10 % fait passer le taux de travail de 170 à 250 Kgs).

Au contraire, les grosses sections assurent la stabilité du taux de travail, c'est ce qui explique que le pont à tablier par dessous qui utilise des arcs larges, et n'est qu'une extension des voûtes en maçonneries, sera toujours beaucoup plus facile à réaliser que l'arc mince surbaissé à tablier suspendu qui est bien spécial au béton armé.

Influence du type d'arc sur les efforts et les sections. — On peut effectuer une comparaison rigoureuse entre les types d'arcs, en écrivant, pour chacun d'eux, les relations établies ci-dessus pour les efforts ou la section moyenne et en comparant les résultats qu'elles donnent dans chaque cas.

1°, Efforts. — Pour les efforts, cela conduit à comparer pour divers tracés donnés les courbes enveloppes des moments fléchissants totaux (surcharge et température), dans chaque arc. Ces courbes se modifient avec le surbaissement cependant elles conservent la même allure générale (voir par exemple la figure 1) et il suffit de faire la comparaison pour un tracé moyen. Nous la donnons ici sur la figure 5 pour un surbaissement de $^1/_{7,5}$, une portée de 125 m, un trace parabolique et une même surcharge du $2T$ 5 pm. C^t. La section de clé est la même pour tous les types et on a caractérisé le type par la section de naissance qui varie depuis l'articulation jusqu'au tympan plein.

On remarquera sur les courbes l'influence énorme de la loi de variation des moments d'inertie sur les moments fléchissants aux naissances; ils deviennent considérables pour les arcs à grosse section de naissance. Cela explique les fissures et les désordres rencontrés dans tous les arcs à tympan plein surtout s'ils sont assez surbaissés (par exemple fissurations étendues des tympans du pont Boucicaut sur la Saône). Quand cette fissuration ne se produit pas le tympan se détache de la voûte comme on le constate dans tous les viaducs en maçonnerie sous rail où le décollement du tympan est souvent complet. On constate également dans toutes les voûtes épaisses une fissure à l'extrados au droit des retombées.

Pour les arcs en béton armé l'effet de la température va jusqu'à annuler la poussée dans les arcs à tympan plein, ils travaillent alors comme de simples consoles; à la température maximum au contraire la poussée est doublée et il ne produit une rotation des culées. Cela condamne le tympan plein comme élément constitutif de l'arc.

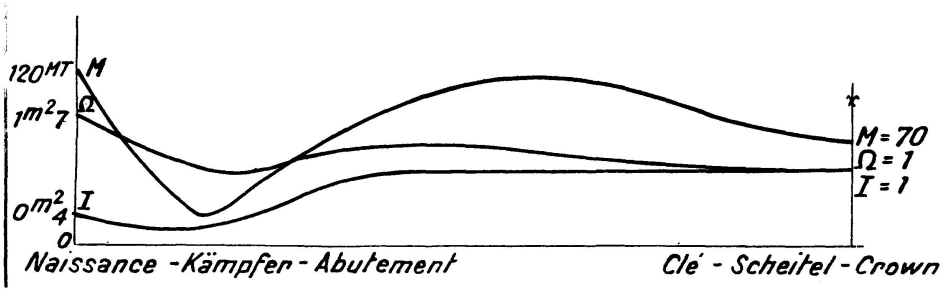

Fig. 6.

Les efforts les moins élevés sont obtenus pour un type d'arc à section de naissance amincie; le minimum a évidemment lieu quand le moment fléchissant à la naissance est égal au maximum en travée, et quand le profil de l'arc est d'égal résistance.

Cette solution a été systématiquement recherchée pour la construction du pont de Fin d'Oise près de Paris; on obtient la courbe des moments d'inertie de la figure 6 et le galbe d'arc de la figure 7.

2° Sections. — Pour les sections on a à comparer les relations donnant l'aire moyenne; étant donné le résultat qui vient d'être obtenu pour les efforts nous avons limité la comparaison entre l'arc à section réduite constante et l'arc d'égale résistance qui vient d'être déterminé.

La section moyenne de cet arc est donné par:

$$\Omega_m = 0{,}68\, p\, l \frac{0{,}29\, \lambda e + 3{,}6 + 0{,}002\, e^2}{10\, R - 0{,}18\, \lambda\, l e + 0{,}11\, e^2 - 14 \dfrac{e}{\lambda}}$$

La portée limite théorique l_2 est supérieure à celle l_1 du premier type on a:

$$l_2^m = 0{,}85\, R - 44$$

soit, comparé au 1er type:

$$l_2^m = 1{,}28\, l_1 + 96^m$$

pour une même résistance du béton et $e = 5$.

On a, d'autre part, pour ce type, les courbes pointillées de la figure 3 qui accusent un gros avantage de ce type dès que le surbaissement augmente (comparer les courbes 50 K - 100 m ou 80 K - 100 m des deux types).

Ces circonstances ont contuit à étendre le type appliqué à Fin d'Oise au pont de La Roche-Guyon sur la Seine, qui est en cours d'exécution, et qui avec ses 160 m d'ouverture sera le plus grand pont en béton armé à tablier suspendu existant. Il a un surbaissement de $^1/_7$ pour le même béton et la même section un arc surbaissé au $^1/_5$ pourrait avoir 220 m environ de portée.

B. Hangar à 3 voûtes continues sans entrait, de 65 m 60 × 3 de portée.

Nous croyons intéressant de donner un exemple de portiques multiples à voûtes sans entrait où la continuité a été systématiquement utilisée.

Il s'agit d'un hangar triple de 3 × 65 m 60 (figure 8) construit à Bizerte par les Etablissements Boussiron de Paris.

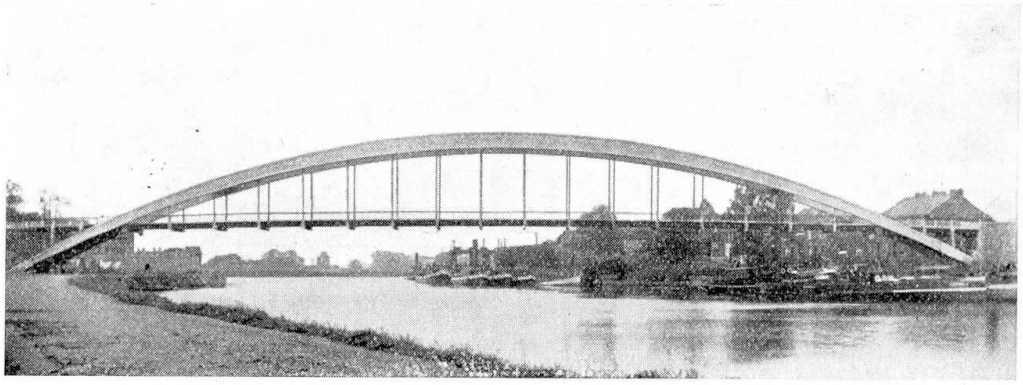

Fig. 7.

Là encore la recherche du profil le plus favorable conduit à un type d'égale résistance aminci aux retombées.

Le système se révèle comme particulièrement avantageux, il montre l'inutilité des entraits dans les voûtes multiples butées, et prouve que dans les voûtes multiples courantes à entrait la continuité modifie complètement la distribution des efforts. Ce système augmentant la hauteur libre a permis d'abaisser la construction. Le déplacement des têtes des poteaux centraux et nettement moins important que dans le système à entrait.

Nous allons donner le mode de calcul d'un tel système, établi en partant des équations de déformation, il ne présente pas de difficulté.

Méthode de calcul du système.

C'est l'application de la méthode générale de résolution des systèmes continus que nous avons donnée dans les Annales des Ponts et Chaussées de France No. VI de 1925 en partant des formules de Bresse (le calcul basé sur le travail de déformation étant bien plus complexe). Nous donnons ici les formules de résolution que nous n'avons qu'indiquées alors.

La méthode consiste à déterminer les coefficients ou constantes de déformations des appuis (figure 9), de chaque arc, cela permet de l'isoler du système et de le calculer pour ses charges propres; l'effet sur les arcs adjacents est ensuite obtenu en utilisant les autres constantes de déformation des appuis.

A cet effet, on déterminera (en prenant l'appui 1 avec son coefficient de déformation):

1° Les constantes de déformation de l'appui 2 de l'arc II (constante liant les déformations aux forces appliquées) cela défini un arc 2_1 3 3′ (fig. 9).

2° Les mêmes constantes de déformation pour l'appui 3 de l'arc III.

3° Les constantes semblables en partant de droite.

Formules. — Constante de l'appui 2: Seules les déformations horizontales et les rotations interviennent. Pour obtenir des expressions

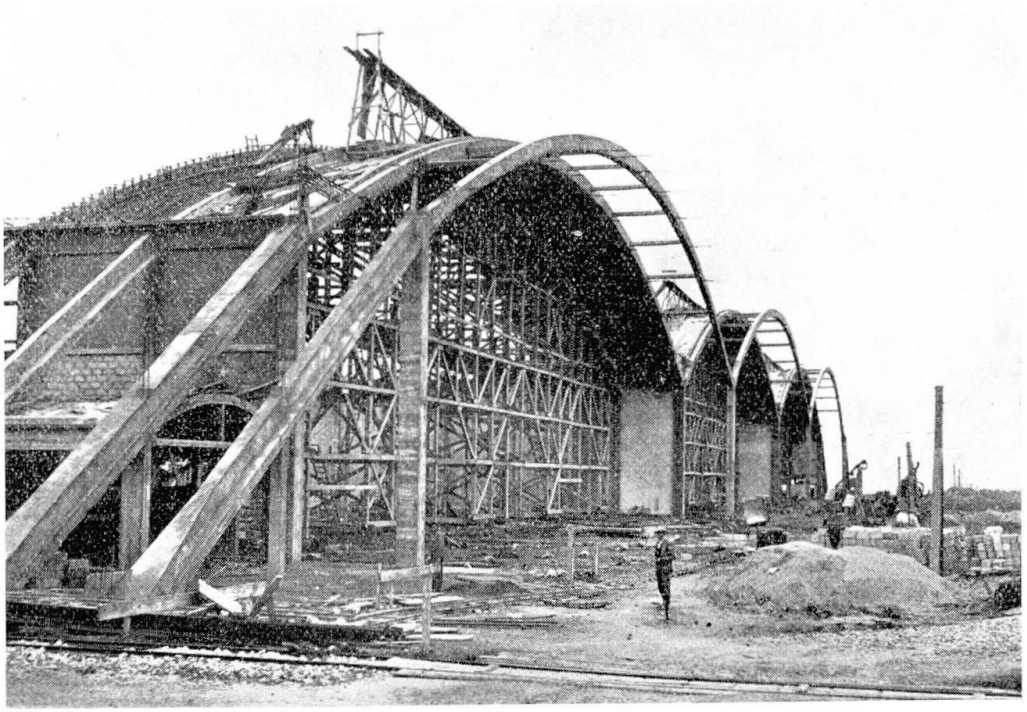

Fig. 8.

simples il faut déterminer les constantes K_1, K_2 pour des axes particuliers Gx, Gy (figure 10) tels que l'on puisse écrire:

$$D\,\Theta_2 = K_1\,M$$
$$D\,Y_2 = K_2\,H + Y_2\,D\,\Theta_2$$

$D\,\Theta_2$, DY_2 rotation, et déplacement de 2 suivant GY
K_1, constantes de rotation pour un moment M
K_2, constante des déplacements suivant GY pour une force H suivant cet axe.

On notera comme suit les constantes de l'arc 1, 2, et du poteau 2, 2′:

Pour l'arc:

$$a = \int \frac{ds}{I} \qquad b = \int \frac{y^2\,ds}{I} \qquad c = \int \frac{x^2\,dx}{I}$$

$$a' = \int \frac{ds'}{I'} \qquad b' = \int \frac{y'^2\,ds}{I} \qquad c' = \int \frac{x'^2\,ds}{I}$$

Dans ces conditions les expressions générales donnant les constantes et les axes sont:

Directions des axes GX, GY,

$$\operatorname{tang} 2\alpha = \frac{d' \sin 2\gamma}{-d + d' \cos 2g} \text{ avec } d = \frac{1}{b} - \frac{1}{c} \text{ et } d' = \frac{1}{b'} - \frac{1}{c'}$$

Constante K_2 $\quad \dfrac{1}{K_2} = \dfrac{\sin^2\alpha}{b} + \dfrac{\cos^2\alpha}{c} + \dfrac{\sin^2\beta}{c} + \dfrac{\cos^2\beta}{b'}$

Konstante K_3 des déformations suivant GX

$$\frac{1}{K_3} = \frac{\sin^2\alpha}{c} + \frac{\cos^2\alpha}{b} + \frac{\sin^2\beta}{b'} + \frac{\cos^2\beta}{c'}$$

Origine des axes

$$Yg = y'_g \cos\beta \frac{K_2}{b'} + x'_g \sin\beta \frac{K_2}{c'}$$

$$Xg = y'_g \sin\beta \frac{K_3}{b'} + x'_g \cos\beta \frac{K_3}{c'}$$

Elles se réduisent ici, avec

$c' = 0$, $b' = 0$, $\gamma = 90^0$ (d'où $\alpha = 90^0$ et $\beta = 0$) à:

$$K_3 = 0 \qquad \frac{1}{K_2} = \frac{1}{b} + \frac{1}{b'} \text{ et } Yg = y'_g \frac{K_2}{b'}$$

K_1 est donné par: $\quad \dfrac{1}{K_1} = \dfrac{y^2_G}{b} + \dfrac{x^2_G}{c} + \dfrac{y'^2_G}{b'} + \dfrac{x^2_G}{c'} + \dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{a'}$

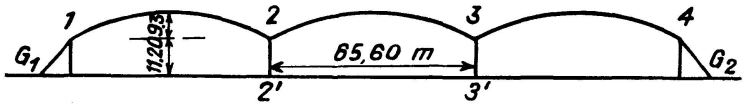

Fig. 9.

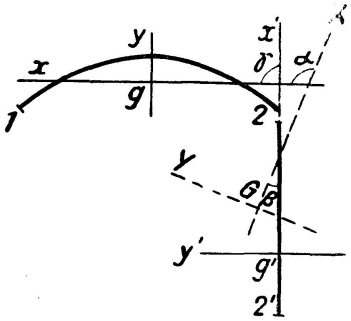

Fig. 10.

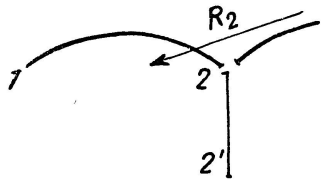

Fig. 11.

Constante de l'appui 3 de l'arc III.

C'est la même opération à effectuer pour l'arc 2_1 33′ qui a K_1 et K_2 pour constante en 2 (caractéristiques d'un poteau fictif GY). On séparera le poteau 3,3′ et l'arc 2, 3, et on rapportera cet arc à des nouveaux axes d'inertie tenant compte du poteau GY, ce qui s'optient par la composition bien connue de ses éléments (composition des moments d'inertie).

Rien n'est à modifier au calcul précédent, les expressions générales ci-dessus s'appliquent exactement.

Les constantes des autres appuis 3 de l'arc II et 2 de l'arc I s'obtiennent de même.

Arcs indépendants. Il suffit de composer l'arc considéré, 2, 3, par exemple et ses constantes d'appuis pour obtenir les nouveaux axes d'inertie et les constantes résultantes de l'arc 2_1, 3_1 indépendant. Son calcul est celui d'un arc encastré courant pour ses charges propres, on obtient les réactions d'appui R_2 et R_3.

Action sur les arcs voisins. Une réaction quelconque R_2 se répartit entre le poteau 2, 2′ et l'arc I (figure 11). Cette répartition est facile à déterminer. Les constantes de déformation de l'appui 2 sont en effet connues, on peut donc déterminer de suite les déformations de cet appui produites par R_2. Les équations de déformations du poteau 2, 2′, en 2 donnent ensuite les réactions corrélatives dans ce poteau; les réactions appliquées à l'arc s'en déduisent par différence.

On peut d'ailleurs déterminer à l'avance les 2 systèmes de réactions pour des moments M et des réactions horizontales H unitaires, on obtient alors un système de réactions fixes et de points fixes (foyers) qui permettent d'obtenir de suite les réactions données par R_2 décomposées en ses éléments M et H (la réaction verticale est sans effet ici). Dans le poteau, par exevple, $m'_{g'} = \frac{K_1}{a'} M$ et $h'_{g'} = \frac{K_2}{b'} H + y'_G \frac{K_1}{a'} M$.

Ces déterminations sont faciles et très sûres, elles ne sont pas très longues. Elles permettent de réaliser des types de constructions dont l'intérêt justifie en tout cas l'effort de recherche entrepris.

Résumé.

1° Pont en arc. Il est possible de déterminer pour les efforts existant dans les ponts en arc des lois de similitude généralisée, c'est à dire ici les relations liant ces efforts aux dimensions des arcs non seulement pour des arcs semblables mais aussi pour des arcs de dimensions quelconques (portée et flèche) avec des sections d'aire quelconque et n'ayant de commun que la loi de variation, le long de l'arc, du moment d'inertie de ces sections et la nature de la courbe du tracé (parabole, cercle et ellipse, etc. ayant même projection).

Ces lois qui sont données ici sont rigoureuses elles permettent de déduire les efforts subits par un pont en arc des efforts connus d'un arc de même type calculé une fois pour toutes ou des efforts mesurés dans un pont existant; elles permettent également dans les essais sur modèles d'adopter des dimensions quelconques d'arc ou de sections.

On a déterminé également les relations liant l'aire des sections (c'est à dire la masse de l'arc) à ses dimensions et à la résistance du matériau employé; cela permet de déterminer complètement un arc d'après son tracé. On en a déduit une intéressante analyse sur la variation de la section moyenne de l'arc en fonction de ses dimensions et de la résistance du béton. Cette analyse permet de fixer judicieusement les caractéristiques d'un arc suivant les conditions posées.

L'analyse des variations de cette section et en outre des efforts avec le type d'arc a permis de déterminer le profil optimum à donner à un arc parabolique surbaissé.

2° Hangar à voûtes continues. Dans une deuxième partie on signale que l'application systématique de la continuité vient d'être faite dans

un hangar triple de 65, 60 × 3 d'ouverture. Les méthodes et formules de calcul sont données.

Zusammenfassung.

1. Bogenbrücken.

Für die bestehenden Beanspruchungen in den Bogenbrücken ist es möglich, die allgemeinen Ähnlichkeitsgesetze zu bestimmen, d. h. die Beziehungen, die zwischen den Beanspruchungen und den Abmessungen der Bogen bestehen, nicht nur für ähnliche Bogen, sondern auch für Bogen von beliebigen Abmessungen (Spannweite und Pfeilhöhe) mit beliebigen Flächeninhalten, die nur das Gesetz der Variation des Trägheitsmomentes längs des Bogens, der Querschnittflächen und der Form der Bogenaxe (Parabel, Kreis, Ellipse usw. von gleicher Projektion) gemeinsam haben.

Die hier wiedergegebenen Gesetze sind genau; sie gestatten die Ableitung der Beanspruchungen, die eine Bogenbrücke erleidet, aus den bekannten Beanspruchungen eines Bogens vom gleichen Typ, der ein für allemal berechnet, oder dessen Beanspruchungen an einem bestehenden Bogen gemessen wurden; sie gestatten auch für Modellversuche beliebige Abmessungen für den Bogen und die Querschnitte anzunehmen.

Es wurden auch die Beziehungen ermittelt, die zwischen den Querschnittsflächen (Maße des Bogens), den Querschnittsabmessungen und der Festigkeit des verwendeten Materials bestehen. Dies gestattet die vollständige Berechnung eines Bogens auf Grund seiner Zeichnung. Es konnte eine interessante Untersuchung über die Variation der mittleren Querschnittsfläche des Bogens in Funktion seiner Abmessungen und der Festigkeit des Betons abgeleitet werden. Diese Untersuchung gestattet eine geschickte Festsetzung der Hauptdaten eines Bogens auf Grund der gestellten Bedingungen.

Die Untersuchung der Veränderlichkeiten dieser Queschnittsfläche und überdies der Spannungen mit dem Bogentypus hat gestattet, einem überhöhten parabolischen Bogen die optimale Form zu geben.

2. Schuppenbau mit durchlaufenden Gewölben.

In einem zweiten Teil wird darauf aufmerksam gemacht, daß die systematische Anwendung der Kontinuität an einem dreischiffigen Schuppen von je 65,60 m Spannweite durchgeführt wurde. Die Methoden und Berechnungsformeln werden angegeben.

Summary.

1. Arched bridges.

For the stresses occurring in arched bridges it is possible to determine the general laws of similarity, i. e. the relations existing between the stresses and the dimensions of the arches, not only for similar arches but also for arches of any dimensions (span and rise of arch) with any cross-sectional area, which have in common only the law of variation of the moment of inertia along the arch, of the cross-sectional areas, and of the form of the arch (parabolic, circular, elliptic, etc. of the same projection).

The laws given here are accurate; they allow the stresses occurring in an arched bridge to be derived from the known stressing in an arch of the

same type which has been calculated once for all, or when the stresses have been measured in an already existing arch; they also allow, for model tests, any desired dimensions to be assumed for the arch and the cross-sections.

The relations have also been determined which exist between the cross-sectional areas (mass of the bridge), the dimensions of the cross-sections, and the strength of the material used. This allows the complete calculation of an arch to be based on the drawing of the arch. An interesting investigation could be deduced concerning the variation of the mean cross-sectional area of the arch as a function of its dimensions and of the strength of the concrete. This investigation allows the main data of an arched bridge to be quickly and easily determined, based on the stipulated conditions.

The investigation of the variation with the type of arch of these cross-sectional areas and, besides that, of the stresses, has allowed the most suitable form to be given to a heightened parabolic arch.

2. *Sheds with continuous vaulting.*

In the second part, attention is called to the fact that the systematic adoption of continuity has been made in a shed with three bays, each of 65.6 metres span. The methods and formulae used in the calculation are given.